



## **Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar**

### **Slutrapport på PSO-projektet 339-13**

**Poulsen, Peter Behrendorff; Dam-Hansen, Carsten; Mogensen, Ib**

*Publication date:*  
2008

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Poulsen, P. B., Dam-Hansen, C., & Mogensen, I. (2008). *Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar: Slutrapport på PSO-projektet 339-13*.

---

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Slutrapport på PSO-projektet 339-13

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar udvikling af fremtidens energibesparende belysning



ODGÅRD  
DESIGN

**DONG**  
energy



**outsider**

Af:

out-sider / Ib Mogensen  
Faktor 3 / Peter Poulsen  
Risø / Carsten Dam-Hansen

2008 – 03 – 31

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**


---

**INDHOLDSFORTEGNELSE**

|   |    |
|---|----|
| 1. Indledning.....                              | 2  |
| 2. Projektets forudsætninger og mål.....        | 3  |
| 2.1 Projektpartnere .....                       | 3  |
| 2.2 Projektets aktiviteter .....                | 4  |
| 3. Teknologi .....                              | 7  |
| 3.1 Teknologiansøgning/research .....           | 7  |
| 3.2 LED – Status for hvide LEDer .....          | 8  |
| 3.3 Solceller – Teknologisk stade.....          | 13 |
| 3.4 Batteriteknologi .....                      | 17 |
| 3.5 Lysforhold .....                            | 18 |
| 3.6 Elektronik.....                             | 20 |
| 3.7 Optik .....                                 | 23 |
| 4. Design .....                                 | 24 |
| 4. 1 Processen.....                             | 24 |
| 4. 2 Systemet .....                             | 25 |
| 4.3 Byens smykke .....                          | 27 |
| 4.4 Chaussesten (brosten) .....                 | 29 |
| 4.5 Siddepullert/puf .....                      | 31 |
| 4.6 Byggesystem/Brio.....                       | 33 |
| 4.7 Svajende siv .....                          | 33 |
| 4.8 Platformen / Siddeelement .....             | 34 |
| 4.9 Udvælgelse .....                            | 34 |
| 4.10 2 Typer produkter.....                     | 35 |
| 4.10.1 Effektllys .....                         | 35 |
| 4.10.2 Fladelys .....                           | 35 |
| 4.11 Funktionsmodeller.....                     | 36 |
| 4.12 Messer og udstillinger .....               | 37 |
| 4.13 Fremtid .....                              | 37 |
| 5. Marked .....                                 | 38 |
| 5. 1 Markedsanalyse - besparelspotentiale ..... | 38 |
| 5.2 Markedsanalyse – fieldtest.....             | 41 |
| 6. Formidling.....                              | 45 |
| 7. Referencer .....                             | 47 |

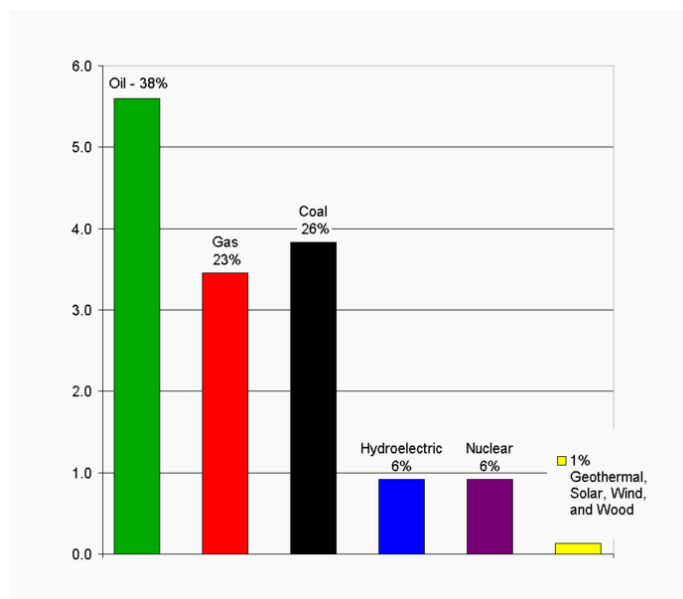
---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

## 1. INDLEDNING

Verdens energiforbrug i forhold til det nuværende forventes fordoblet i 2050 og ser ud til at tredobles imod slutningen af dette århundrede. Det nuværende energiforbrug beløber sig globalt til 13 Terawatt pr. år, men den øgede befolkningstilvækst på jorden vil samtidig med den generelle industrielle og teknologiske vækst (primært i Kina og Indien) bringe forbruget op i nærheden af 30 Terawatt<sup>1</sup>. Ressourceforbruget er procentvist fordelt som vist nedenfor på figuren.



Procentvis global energi forbrugs fordeling. <sup>2</sup>

Hele 87% ses at være fordelt på fossile energikilder og kun ca. 7% på vedvarende energikilder, hvoraf ca. 65% kommer fra vandkraft. De 6% nuklear energi er i CO<sub>2</sub>-neutralitetens tjeneste en vinderhest, men de miljømæssige konsekvenser affaldet fra denne energikilde har er ganske alvorlige, og faren ved uheld er ekstreme. I øvrigt er råstofferne til denne ressource langt fra uudtømmelige.

Med den ekstremt voksende industrialisering i 3. verdenslande og det generelt øgede energiforbrug globalt er der brug for en omlægning til vedvarende energi i alle afskygninger, og dette projekt adresserer en lille niche af dette, nemlig anvendelsen af solcelleteknologi til at drive LED-lyskilder udendørs. Studiet er begrænset til at vurdere besparelspotentialt for anvendelse af disse teknologier i offentligt udendørsinventar, hvor besparelsen herved er en sum af:

- Direkte energibesparelse ved anvendelse af solenergien frem for strøm fra kraftværker
- Etableringsenergi (opgravning, kabeltræk og genetablering af vejbelægning)
- Energi logistik (ingen tab i lange ledninger fra elværk, forkoblinger, transformerskabe etc.)
- Energi ved servicering LED lyskildens lange holdbarhed frem for andre lyskilder

Selvom det måske ikke er traditionelt at se på alle disse led i energiforbrugssummen når man taler om en lyskildes forbrug, er det ikke desto mindre et faktum at de alle bidrager til CO<sub>2</sub> regnskabet. Med det in mente har projektet til formål at udvikle solcelledreven LED-lys i offentlige udendørsinventar.

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

## 2. PROJEKTETS FORUDSÆTNINGER OG MÅL

Projektets partnere spænder over en bred kompetenceprofil dækkende hele værdikæden fra specialister i LED-teknologi og solcelleteknologi, samt markeds kendere i såvel lysbranchen som i solcellebranchen på kommunalt plan. Endvidere har projektet stærke designkompetencer, der giver mulighed for i samarbejde med teknologi og markedsstudier at skabe reelle produktprototyper, som baggrund for de enkelte faser i projektet.

### 2.1 Projektpartnere

Partnerne i projektet samt deres indsatsområder og kompetencer er skitseret nedenfor:

- **Out-sider A/S**- Projektansøger og out-sider igangsætter Ib Mogensen har været igangsætter af tidligere PSO-projekter (LED projekt 337-068) i sin tidligere egenskab som udviklingsdirektør i Louis Poulsen Lighting A/S(LPL) og i et frugtbart samarbejde mellem LPL, Risø og et udvalgt antal designere. Da det nystartede firma out-sider har en vision om integration af energineutral teknologi i udemøbler, var det naturligt at kontakte både kendte og nye mulige projektdeltagere indenfor feltet. Firmaet out-sider a/s er et nystartet dansk firma indenfor innovativt byrumsinventar og vil gå på det danske marked 2007 – og vil som en kerneværdi gerne tilbyde uderumsinventar med integreret LED-lys og solcelledrevet. Out-Sider's mål er at være europæisk markedsleder indenfor sit felt indenfor 5-8 år – og vil derfor være en vækst- og gazellevirksomhed. Da firmaet er en iværksættervirksomhed med deraf begrænsede midler, vil et PSO-godkendt projekt være af væsentlig betydning for realiseringen af målene omkring solcelledrevet LED-lys. Uden tilskud vil det desværre ikke være muligt at gennemføre projektet!

Projektleder for projektet, fieldtest, designigangsættelse, efterfølgende markedsimplementering. Koordinator skal udføre markedstest, koordinere de mange deltagere og deres indsats, markedsføre resultaterne og håndtere omkostninger og rapporter.

- **FAKTOR 3 ApS** - Virksomheden har indgående kendskab til solcelleteknologi gennem arbejde med denne i virksomhedsregi og virksomhedslederne arbejde i tidligere ansættelse på Teknologisk Institut. De har flere publikationer samt indgivelse af patentansøgning inden for solcelleteknologi, samt et verdensomspændende netværk på området.

FAKTOR 3 varetager koncept- og designarbejde vedr. anvendelse af solceller og LED i uderumsinventar samt koncept, udvikling og dimensionering af solceller, batterier, elektronik og LED.

- **RISØ's afdeling for Fotonik** – LED lyslaboratoriet er Danmarks kraftcenter når det gælder LED lyskilder. Carsten Dam-Hansen har deltaget i følgende F&U Elforsk projekter alle omhandlende LED lyskilder: 336-054, 338-022, 339-013, 339-025, 339-040, 339-052.

Opsætte behov og udvælge LED ud fra egenskaber; beregning af linser, reflektorer etc. vedr. de lysmæssige behov og muligheder. Forestå forsøg og modeller vedr. LED

- **CH-Armatur ApS** – Virksomheden i Ringkøbing har mange års erfaring i udvikling og produktion af belysningsarmaturer til projektmarkedet og har produktion i hhv. Ringkøbing og Slovakiet - ialt ca. 150 medarbejdere.

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

Sammenkædning/udvikling af de 5 indgående elementer: LED, batteri, elektronik, solceller og inventaret. Fremstilling af de nødvendige samlede opstillinger, tests, prototyper og modeller.

- **DONG Energy A/S** - Dong Energy (Nesa) har en årelang erfaring i LED og solceller og tilfører projektet stor viden og erfaring vedr. primært solcellers egenskaber, begrænsninger og anvendelse i praksis. DONGS' adgang til markedet er også væsentlig, da der foretages markeds- og fieldtest.

Solcellers egenskaber, begrænsninger, anvendelse, beregninger af energigevinster, omkostningsbesparelser og miljøbelastninger. Anvisning og deltagelse i forsøg, beregninger, fieldtest etc.

## **2.2 Projektets aktiviteter**

Projektet er planlagt efter og har været styret efter 4 fastlagte større milepæle og 5 underliggende aktivitetsfaser og da projektet har et relativt kort forløb (ca. et år), ønskes der en vurdering og justering af tids- og aktivitetsplanerne på hvert fælles statusmøde. Det aftaltes mellem projektdeltagerne på opstartsmødet i februar 07, at der skulle afholdes 6 fælles statusmøder (realiseret: februar 07, april 07, maj 07, august 07, oktober 07, november 07) og et antal (realiseret ca.15) individuelle projektmøder indenfor de 3 indsatsområder: marked, design og teknologi. Processen har fungeret til alles tilfredshed; så godt som alle har deltaget i fællesmøderne og under projektevalueringen i december 07 blev projektets fremdrift og resultat rost af alle deltagerne. Tidsmæssigt blev det kun nødvendigt at rykke afslutningstidspunktet med ca. 2 måneder. For nærmere info om milepæle, faser og tider se nedenstående "Tidsplan"

### **Milepæl 1: Markedsrapport – 10. april 07**

Resultatet fra de indledende interviews, besøg, markedsundersøgelser etc.

### **Milepæl 2: Feasability study rapport – 1. juni 07**

Resultatet fra de tekniske undersøgelser, forsøg, tests etc.

Uddrag vil blive offentliggjort i passende magasiner/blade (Arkitekten, Ingeniøren, Landskab, Bygge & Anlæg etc.)

### **Milepæl 3: Messe & Field test rapport – 1. oktober 07**

Resultat fra forsøg, tests, opstillinger i udvalgte byrum i København og fra LYSETS DAG ultimo september 07, hvor projektet offentliggøres i et større sammenhæng med den danske lysbranche.

### **Milepæl 4: Afslutningsrapport – 31. december 07**

Endelig og afslutningsrapport fra projektet

Uddrag og konklusioner vil blive offentliggjort i passende magasiner/blade og på møder for arkitekter/tekniske forvaltninger

#### Fase 1: Behov- og markedsanalyse

Ud fra den grundlæggende ide blev udvalgte arkitekter og offentlige instanser/ institutioner besøgt og interviewet vedr. behov, ønsker og muligheder. Ideen præsenteredes i form af plancher og gennemførtes fra februar 07, men blev løbende opdateret og endelig afsluttet april 07.

#### Fase 2: Teknologi søgning

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

Søgning, besøg og indhentning af nødvendige eksisterende teknologier (forskellige typer af solceller, batterityper, elektronik og LED's) + produkter/emner/ komponenter indkøbes. Evt. nye teknologibehov opstillet. Igangsat februar 07 og endelig slut juni 07

**Fase 3: Tekniske forsøg/feasability study**

De udvalgte teknologier/komponenter sammensættes i forsøgsopstillinger, der skal vise bæredygtigheden. Således tænkes udført forsøgsopstillinger med lys og der foretages de første konkrete lysmålinger og vurderinger af lysets virkning i og på udemiljøet.

Igangsættes juni 07 og skal afsluttes ultimo oktober 07

**Fase 4: Design- og modelforsøg**

De udvalgte emner/komponenter implementeret i de udvalgte 7 designs og både design- og lysdelen vurderes samlet. Igangsat februar 07 og 1. model afsluttet maj 07 og endelige modeller september 07

**Fase 5: Fieldtest**

De udvalgte 7 konceptprodukter markedsvurderet hos målgrupper. Kommuner besøgt og deltaget på bl.a. Messe for kunderspons. Igangsat september 07 og løbende indtil afslutning.

**Fase 6: Rapport og formidling**

Fotos, kommentarer fra Fieldtest, sammenskrivning af resultater o.s.v. gennemført til endelig afslutning. PSO-projektet er dermed officielt afsluttet 1. november 07 og rapporten afsluttet 31. december 07

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

| Fase      | Aktivitet  | Drivere                  | Måned 2007 |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-----------|--|--------------------------|------------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|--|
|           |  |                          | Febr.      | Mart. | Apr. | Maj | Juni | Juli | Aug. | Sep. | Okt. | Nov. | Dec. |  |
| 1         | <b>Behov- og markedsanalyse</b>  |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           | Besparelsespotential, markeds- og teknologiresearch, udvalgte designelementer  | OS, DONG, Faktor 3, Risø |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           |  |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 2         | <b>Teknologisøgning</b>  |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           | Søgning/indkøb/test af 4 komponenter, aflevering af designs, visualisering af designs, analyse/udvælgelse af komponenter og design | OS, DONG, Faktor 3, Risø |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           |  |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 3         | <b>Feasibility study</b>   |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           | Integrering af teknologi i produkter, modeller, field- og kundetest af modeller med lys  | OS, DONG, Faktor 3, CH   |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           |  |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 4         | <b>Design- og modelforsøg</b>  |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           | Designvalg, lys-forsøg, markedstest af designs   | OS, Risø, Faktor 3. MADS |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           |  |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 5         | <b>Fieldtest</b>   |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           | Field- og kundetest, messer, medier, seminar   | OS, Faktor 3. DONG       |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           |  |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 6         | <b>Rapport- og formidling</b>  |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           | Indsamle research, rapporter, PR, evaluering, regnskab   | OS, Alle                 |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           |  |                          |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           | Opstart  | Opstartsmøde: 2.2.07     | x          |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
|           | Research   | Statusmøde 1: 26.2.07    |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Milepæl 1 | Research   | Statusmøde 2: 10.4.2007  |            |       | x    |     |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Milepæl 2 | Konkretisering   | Statusmøde 3: 22.5.2007  |            |       |      |     | x    |      |      |      |      |      |      |  |
| Milepæl 3 | Færdiggørelse  | Statusmøde 4: 13.8.2007  |            |       |      |     |      |      | x    |      |      |      |      |  |
| Milepæl 4 | Public   | Statusmøde 5: 2.10.07    |            |       |      |     |      |      |      |      |      |      | x    |  |
|           |  | Afslutningsmøde: 7.11.07 |            |       |      |     |      |      |      |      |      | x    |      |  |



## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

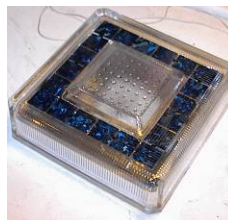
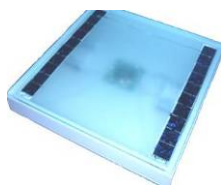
### 3. TEKNOLOGI

Projektets indledes teknisk med en teknologisøgning af solcelledrevne LED-belysningsprodukter til identifikation af deres teknologiske stadiet i forhold til det nuværende forskningsniveau for enkeltkomponenterne. De enkeltkomponenter der er tale om er solceller, batterier, LED'er og deres anvendelse af intelligent og energibesparende elektronik til styring.

#### 3.1 Teknologisøgning/research

For at undersøge stadiet af de nuværende produkter med LED og solceller integreret blev researchet på diverse lampetyper. De mest relevante blev hjemkøbt og undersøgt teknisk for de elektriske komponenter. Nedenfor er givet en oversigt over deres indhold af komponenter. Det skal bemærkes, at undersøgelsen alene er foretaget til identifikation af teknologisk stadiet af solcelle/LED lamper og ikke har til hensigt at kopiere såvel design som teknologiindhold.

|                  | Solar glass block   | Ground light          | Flad groundlight   | Pullert            | Pullert Gul           | Solsten 2           | Aflang solsten        | Sten                  | Pullert            |
|------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Solceller</b> |                     |                       |                    |                    |                       |                     |                       |                       |                    |
| Teknologi        | Poly-Si             | Poly-Si               | Mono-Si            | Mono-Si            | Mono-Si               | Poly-Si             | Mono-Si               | Mono-Si               | Poly-Si            |
| Areal            | 130 cm <sup>2</sup> | 29,76 cm <sup>2</sup> | 16 cm <sup>2</sup> | 48 cm <sup>2</sup> | 65,28 cm <sup>2</sup> | 130 cm <sup>2</sup> | 14,88 cm <sup>2</sup> | 40,32 cm <sup>2</sup> | 42 cm <sup>2</sup> |
| Effekt (v. 15%)  | 1,95 Wp             | 0,45 Wp               | 0,24 Wp            | 0,72 Wp            | 0,98 Wp               | 1,95 Wp             | 0,22 Wp               | 0,6 Wp                | 0,63 Wp            |
|                  |                     |                       |                    |                    |                       |                     |                       |                       |                    |
| <b>LED</b>       |                     |                       |                    |                    |                       |                     |                       |                       |                    |
| Antal            | 12                  | 18                    | 1                  | 3                  | 6                     | 12                  | 2                     | 3                     | 6                  |
| Type             | Alm                 | Alm                   | 300 mW?            | Alm                | SMD                   | Alm                 | Alm                   | Alm                   | Kæmpe              |
| Farve            | Hvide               | RGB                   | Blå/hvid           | Hvid               | Gul                   | Hvide               | Gul                   | Hvide                 | Blå-hvide          |
|                  |                     |                       |                    |                    |                       |                     |                       |                       |                    |
| <b>Batteri</b>   |                     |                       |                    |                    |                       |                     |                       |                       |                    |
| Teknologi        | Li-Ion              | NiMH                  | ?                  | NiCd               | NiMH                  | Li-Ion              | NiMH                  | NiMH                  | Li-Ion             |
| Antal            | 1                   | 2                     | 2                  | 2                  | 2                     | 1                   | 2                     | 2                     | 1                  |
| mAh              | 2350 mAh            | 1600 mAh              | ?                  | 1100 mAh           | 1300 mAh              | 2350 mAh            | 500 mAh               | 600 mAh               | ?                  |
| Energi           | 8,7 Wh              | 3,84 Wh               | ?                  | 2,64 Wh            | 3,12 Wh               | 8,7 Wh              | 1,2 Wh                | 1,44 Wh               | ?                  |



---

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

---

Nogle af lamperne kan ses ovenfor i deres udgangsposition.

### Teknologi

Batterier, solceller og LEDtyper blev undersøgt, og det blev fundet, at selv de ypperste solcelle-LED lamper på markedet havde relativt ikke-tidsvarende komponentindhold. Solcellerne er af mono eller polykrystallinsk silicium og er typisk fremstillet via affald fra solcelleindustrien. Dette pakkes i kasser og sendes typisk til Kina, hvor det opskæres, så små funktionelle stykker opnås. Disse loddet sammen og emballeres til små paneler. De fleste af solcellelamperne er lavet ud fra disse paneler, der har nogle standardmål og formater. Nogle få af lamperne har fået speciallavet deres solpaneler, hvilket tydeligvis også er dem med den højeste pris og bedste komponenter integreret. Li-ion batterier er anvendt i de produkter af højeste kvalitet, mens NiMH og NiCd er brugt i de billigere modeller. LED'erne i de bedre lamper fandtes at have bedst lysudbytte dog kun med få lm/W, hvilket er ekstremt lang fra, hvad teknologien kan præstere. Elektrisk var ingen af lamperne udstyret med mikroprocessorer eller havde nogen form for intelligens indbygget. En af lamperne havde dog noget meget simpelt RGB styring af tre forskellig serier af 6 røde, 6 grønne og 6 blå LED'er, der tænder og fader op og ned sekventielt. Alle lamperne har en eller anden lyssensor funktion, der får lampen til at tænde når et lavt lysniveau indtræder. Kun 1 af lamperne (af de over 20 der er undersøgt) anvender solcellen som lysføler, hvilket ellers ville være oplagt.

### Æstetik

LED'erne var for alle de hvides vedkommende indeholdende chips med meget koldt lys – vurderet som >6000K. Mekanisk set er flere af dem fornuftigt opbygget, og der er tænkt på minimering af refleksioner i forhold til solcellerne og i nogen grad anvendt optik på LED'erne. Den designmæssige vurdering af produkter fra projektgruppen er dog meget lav, selv når produkter nærmer sig en indkøbspris på omkring 1000 kr.

### Delkonklusion

Konkluderende kunne det lille forstudie af de nuværende produkter på markedet an vise, at der ikke er tale om hverken high-end komponenter brugt i produkterne, ligesom produkterne heller ikke umiddelbart kan betegnes visuelt at signalere high-end. Det vurderes, at de produkter, der er på markedet for nuværende af såvel æstetiske som tekniske og holdbarhedsmæssige grunde ikke vil kunne forventes at finde anvendelse på det danske byrumsinventarmarked. Projektgruppen blev bekræftet i, at der ved opgradering af elektronik via implementering af intelligens, anvendelse af bedre solceller, bedre LEDer, bedre batterier og alt i alt kombineret med godt design kan opnås mange gange bedre teknisk velfungerende løsninger samt produkter, der rent faktisk er attraktive æstetisk at integrere i bymiljøet.

Udvalget af solcelle/LED løsninger begrænser sig primært til pullerter – lys i sten og uplightere. Der findes også gadebelysning med solceller og LED, men så er >6 meter høje lygtepæle med et standerpanel monteret ovenpå. Anvendelse af LED og solceller i bænke, plinte, skraldespande etc. er ikke fundet i markedsstudiet.

## 3.2 LED – Status for hvide LEDer

Dette afsnit giver en kort status over forskning og udvikling af hvide LEDs til belysning med særlig hensyn til energieffektivitet, farvetemperatur og lysstrøm. Hidtil annoncerede højeste effektivitet, lysstrøm og opnåelige farvetemperaturer er rapporteret og der gives eksempler på målinger på kommercielt tilgængelige LED enheder.

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

### F&U tendenser

Forskningen og udviklingen går imod enkelt enheder med stadig større lysstrøm og stadig større energieffektivitet. Hidtil højeste effektivitet er annonceret af Nichia<sup>3</sup>, der har opnået en effektivitet på 150 lm/W ved en operationsstrøm på 20 mA, som altså har en meget lav lysstrøm på 9.4 lm. Lumileds har senere rapporteret en high-power LED<sup>4</sup> som ved en operationsstrøm på 350 mA udsender en lysstrøm på 136 lm, svarende til en effektivitet på 115 lm/W. Farvetemperaturen er 4685 K som er væsentlig lavere end for tilsvarende enheder.

Højeste lysstrøm fra denne high-power LED på 502 lm fra en enkelt LED enhed med en operationsstrøm på 2000 mA og en effektivitet på 61 lm/W.

Et problem med high-power LEDs er at energieffektiviteten falder drastisk ved høje operationsstrømme > 1000 mA. Lumileds har annonceret en chip niveau løsning på dette problem<sup>5</sup>, som de kalder *droop*, i løbet af 2007.

Ved at benytte multichip enheder har OSRAM udviklet en OSTAR<sup>6</sup> som med 6 chips vil kunne give en total lysstrøm på 1100 lm (ca. som en 50 W halogen pære (20 lm/W)) med en effektivitet på 50 lm/W ved en operationsstrøm på 1000 mA.

Udviklingen imod LED enheder med mere varm hvidt lys, lavere farvetemperatur, kommer i anden række, efter lysstrøm og effektivitet. Men det ser ud til at der vil ske en del på dette område i løbet af 2007. Hovedproblemet<sup>7</sup> med varm hvide high-power LEDs ligger i stabiliteten af de fosforescerende systemer ved høje strømtætheder og dermed høje junction temperaturer. Degradering af de røde fosforescerende stoffer medfører et betydeligt farveskift imod det koldhvide område. I den første del af 2007 er lanceret nogle varmhvide high-power LEDs med farvetemperaturer helt ned til 2800 K, se skemaet. Effektiviteten af varm hvide LEDs er betydelig lavere end for tilsvarende kold hvide LED enheder.

Alle de store producenter af LEDs som Osram, Lumileds, Cree og Nichia lancerer nu nye mere energieffektive LEDs og de bliver markedsført i tre kategorier af hvide LEDs, som kaldes kold, neutral og varm hvid. Kategorierne dækker hhv. LEDs med korrelerede farvetemperaturer i områderne 5000 – 10000 K, 3500 – 5000 K og 2600 – 3500 K. De tilsvarende Ra-indeks vil være omkring 75 for de kold og neutral hvide og 80 for de varm hvide LEDs.

Forskningen er især rettet mod pakningen af LED chips, i at sørge for god varmeafledning og høj lysudkobling. Jo, bedre varmeafledning jo større strømtæthed kan der benyttes og dermed højere lysstrøm fra en enkelt enhed.

### LED produkter/resultater

I skemaet herunder er listet en række karakteristika for forskellige nye high-power LED enheder, med specielt henblik på bedste værdier (markeret med rød tekst) for hhv. lysstrøm, farvetemperatur, operationsstrøm og effektivitet. Man skal være opmærksom på at mange rapporterede bedste værdier ikke kan opnås i volumenproduktion og derfor ikke kan købes på tidspunktet hvor det rapporteres.

| Produkt | Lysstrøm<br>[lm] | Farvetemperatur<br>[K] | Strøm<br>[mA] | Effektivitet<br>[lm/W] | Producent |
|---------|------------------|------------------------|---------------|------------------------|-----------|
| NSPWR70 | 9.4              | 4600                   | 20            | 150                    | Nichia    |
| -       | 136              | 4685                   | 350           | 115                    | Lumileds  |

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

|             |        |            |           |       |          |
|-------------|--------|------------|-----------|-------|----------|
| -           | 502    | 4685       | 2000      | 61    | Lumileds |
| K2          | 61/101 | 5000       | 350/700   | 50/38 | Lumileds |
|             |        |            |           |       |          |
| XLamp XR-E  | 80     | 5000-10000 | 350       | 70    | Cree     |
| XLamp XR-E  | 70/120 | 3700       | 350/700   |       | Cree     |
| XLamp XR-E  | 65/110 | 2600       | 350/700   | 56/45 | Cree     |
|             |        |            |           |       |          |
| NS6L083*    | 52     | 3500       | 300       | 52    | Nichia   |
| NS6L083*    | 48     | 2800       | 300       | 48    | Nichia   |
| Power Rigel | 32     | 2800       | 350 (650) | 27    | Nichia   |
|             |        |            |           |       |          |

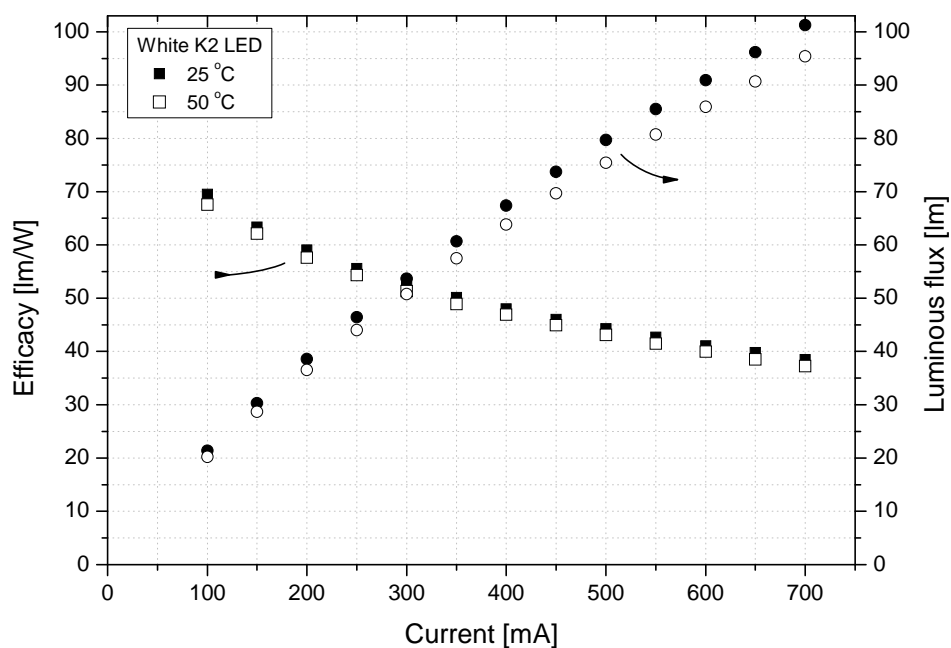
\*) multichip enheder, 6 chip der samlet giver en højere effektivitet

### Datablads værdier

Man skal være opmærksom på at effektiviteten afhænger af operationsstrømmen og at en opgivet effektivitet i mange tilfælde er opgivet for en lav operationsstrøm. Ligeledes vil databladsværdier være opgivet for en operationstemperatur (junction temperatur) på 25 °C. Værdierne vil derfor være anderledes ved mere realistiske operationstemperaturer som måske ligger på 50-80°C.

### Eksempel K2 LED

Som et eksempel på hvorledes effektivitet og total lysstrøm afhænger af operationsstrømmen vises her resultatet af en række målinger på en K2 hvid LED fra Lumileds. I en kalibreret radiospektrometrisk måleopstilling med en fiberkoblet integrerende kugle er målt den totalt udsendte lysstrøm og spændingen over lysdioden som funktion af operationsstrømmen. På grafen er henholdsvis vist den totale lysstrøm og den beregnede energieffektivitet.



## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

Det ses at lysstrømmen øges fra ca. 20 lm ved 100 mA til omkring 100 lm ved 700 mA. Som nævnt ovenfor falder effektiviteten når operationsstrømmen øges, den er omkring 70 lm/W ved 100 mA og er reduceret til omkring 38 lm/W ved 700 mA.

Målingerne er foretaget ved en konstant temperatur på kølefladen på hhv. 25 og 50 °C. Det ses at temperaturforskellen ikke har den store betydning for effektiviteten, men at den totale lysstrøm reduceres lidt ved den øgede temperatur.

### Måleresultater for K2 neutral hvid

**Light source:** LumiLeds Luxeon K2 neutral white, LXK2-PWN2-S00  
**Operating conditions:** 350 mA constant current,  $T_{amb} = 25\text{ °C}$

Total emission measured by illumination through 1" port of integrating sphere

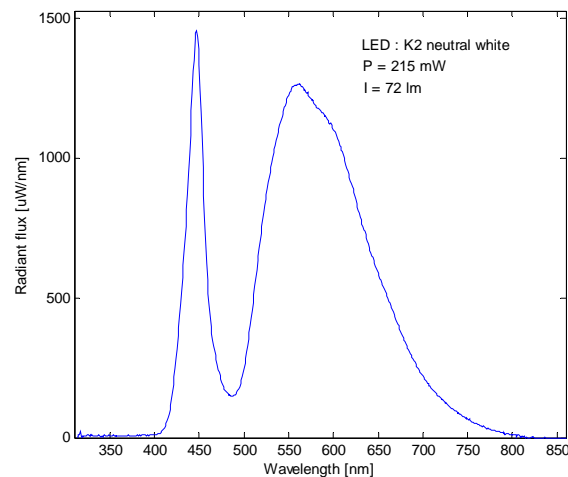
**Measured spectral distribution:**  
 wavelength range 312 – 850 nm

Total radiant flux:

$P = 215\text{ mW}$

Total luminous flux:

$\Phi = 72\text{ lm}$



### Color characteristics:

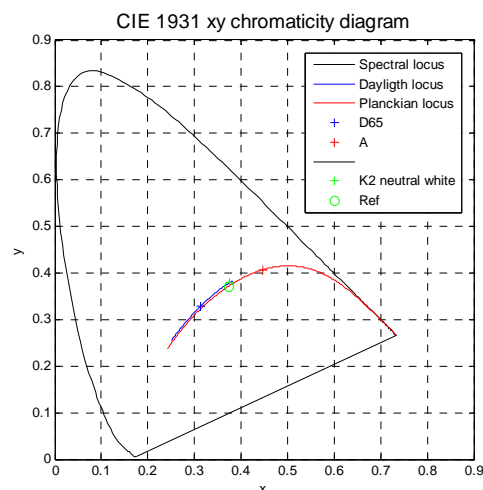
Color coordinates:

$x = 0.3744$

$y = 0.3802$

Correlated color temperature:

$CCT = 4190\text{ K}$



Color rendering:

| i | Test object color | CRI |
|---|-------------------|-----|
|---|-------------------|-----|

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

(CIE 13.3.-1995)

CRI = 69 [Planckian 4190 K]

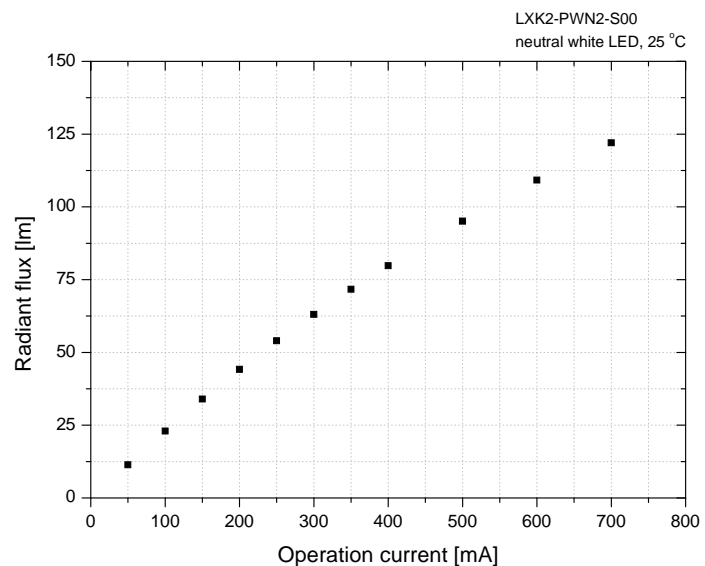
CD =  $3.4 \cdot 10^{-3}$

Note: the CD is within the limit value  $5.4 \cdot 10^{-3}$  recommended by CIE.

|    |                          |      |
|----|--------------------------|------|
| 1  | Light greyish red        | 67.0 |
| 2  | Dark greyish yellow      | 73.9 |
| 3  | Strong yellow green      | 77.1 |
| 4  | Moderate yellowish green | 69.3 |
| 5  | Light bluish green       | 65.5 |
| 6  | Light blue               | 61.5 |
| 7  | Light violet             | 80.7 |
| 8  | Light reddish purple     | 57.8 |
| 9  | Strong red               | 21.0 |
| 10 | Strong yellow            | 36.0 |
| 11 | Strong green             | 62.1 |
| 12 | Strong blue              | 32.2 |
| 13 | Light yellowish pink     | 67.1 |
| 14 | Moderate olive green     | 86.6 |

### Flux and efficiency:

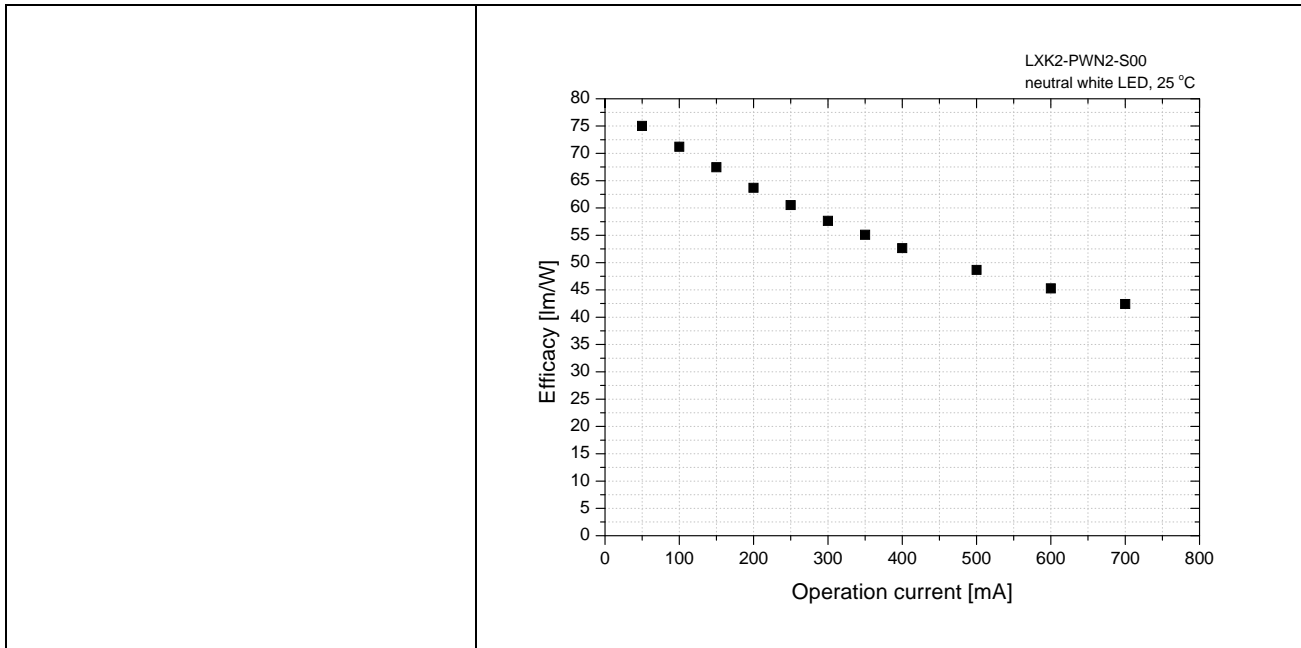
Measured total flux as a function of operation current:



Measured efficacy as a function of operation current:

Note: not corrected for absorption changes in integrating sphere setup.

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning



### 3.3 Solceller – Teknologisk stade

Formålet med solcellestudiet var, at finde de optimale solceller til anvendelse i solcelle-LED belysning på markedet. Det er interessant at finde ud af, hvor langt der er fra laboratorieniveau til, hvad der er kommercielt tilgængelige på markedet, til relevante priser i øvrigt.

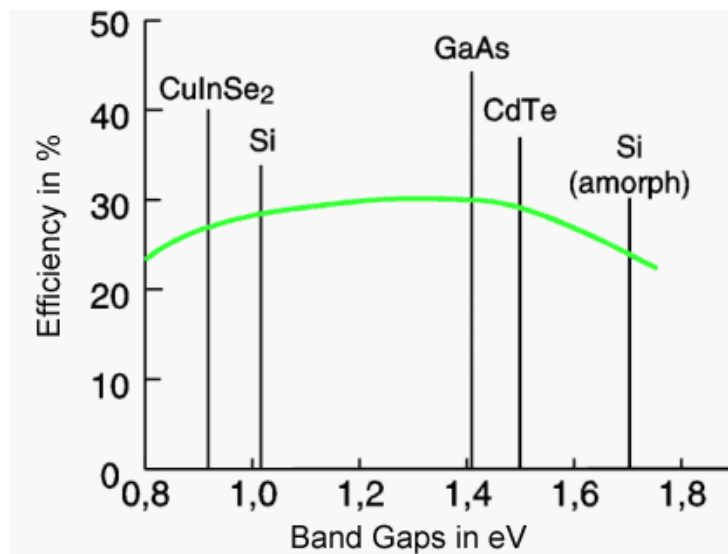
#### F&U niveau

Krystalline siliciumsolceller er den absolut mest udviklede solcelleteknologi, der er på markedet, da det også er den ældste med mere end 50 år på bagen. I laboratoriet kan man fremstille celler tæt på 25% konverteringseffektivitet, men kommercielt er den bedste Si solcelle på ca. 22%. Den teoretiske konverteringseffektivitet for Si er ca. 28%, så denne teknologi nærmer sig i høj grad sit maksimum. Grunden til, at silicium ikke kan opnå højere effektivitet er, at siliciums båndgab er 1,1 eV og derfor kun udnytter en del af solspektrets infrarøde del. Endvidere udnyttes kun den energi svarende til båndgabets – alt overskydende energi går tabt. For single-junction solceller er det optimale omkring 1,4 eV – se nedenstående graf:

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---



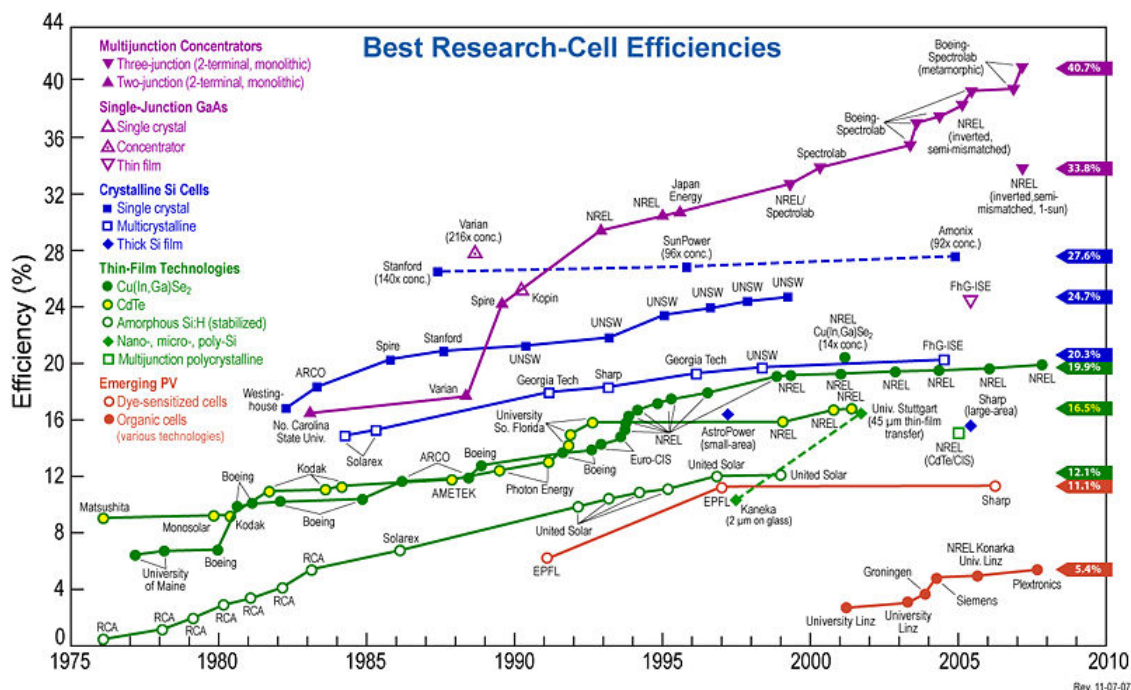
Silicium fås i sin krystallinske form som såvel monokrystallinsk som polykrystallinsk. Effektiviteten af de monokrystallinske er bedre end dem baseret på flere krystaller, da sidstnævnte har tabsmekanismer mellem krystallerne. Polykrystallinske celler ligger i dag på omkring 13-15% effektivitet og monokrystallinske er på 16-18% i gennemsnit. Disse effektiviteter er målt ved sollys svarende til AM1,5 og 1000 W/m<sup>2</sup> ved 25°C. Dette er uheldigvis ikke betingelser solcellerne oplever i størstedelen af deres driftstid. Når lysforholdene bliver dårligere yder især siliciumsolfceller dårligere grundet forskellige tabsfænomener, der begynder at blive udtalte ved dårligere lysbetingelser. Dette gør sig især gældende for polykrystallinsk silicium. Det ser ud til, at jo renere siliciumgrundmaterialet er, jo bedre yder det også ved lavtlys-betingelser, hvilket er særdeles relevant i anvendelser i byrummet, hvor der må forventes relativt dårligere lysbetingelser end solcellers traditionelle placeringer på tage.

Andre solcelleteknologier begynder at vinde frem og tyndfilmsteknologierne er de mest fremherskende, selvom disse dog ikke er nær så effektive som silicium. Til gengæld fungerer de bedre ved lavtlys-betingelser og er umiddelbart billigere end silicium. Det er disse teknologier, der kommer til at eksplodere i den kommende tid af flere årsager. Silicium er ekstremt energikrævende at udvinde fra grundmaterialet der essentielt er sand. Det skal være ekstremt rent før det kan anvendes til solceller – og der er faktisk en massiv flaskehals i solcellebranchen, da cellefabrikanterne har svært ved at få silicium nok. Endvidere er denne udvinding proces ekstremt dyr og da siliciumsolfceller er 160-250 µm tykke og hele materialetykkelsen fungerer til at opsamle sollyset og konvertere det til energi, er det svært at gøre cellerne meget billigere, hvilket er det industrien kæmper indædt for. Man prøver at gøre cellerne tyndere og tyndere, men det gør dem svære at håndtere i modulproduktionen. Hvis de gøres meget tyndere end de tyndeste på markedet nu på ca. 160µm bliver det nærmest umuligt at håndtere dem. Endvidere prøver man at minimere spild via mere effektive skæreprocesser (silicium savsmuld er dyrt). I tyndfilmsteknologier er det aktive materiale 1-2 µm tykt og materialeforbruget af de dyre komponenter er derfor ca. 100 gange mindre. Dette giver potentiale for en massiv prisreduktion i solcellerne. Endvidere giver det nogle frihedsgrader i design, da solcellematerialet her essentielt pådampes substrater og dermed kan variere geometrisk. Det er dog stadig avancerede vakuum processer i renrumsfaciliteter, der skal til for at tilvejebringe disse solceller, så anlægsinvesteringerne er store, hvilket afspejler sig i priserne. Endvidere er det komplekst at styre mikrostrukturen, der er afgørende for effektiviteten og det er især her der på forskningsniveau gøres en ihærdig indsats. Tyndfilmssolfceller spås en eksplosionsagtig udvikling de



## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

kommende år. Tyndfilmsteknologier er primært CIGS, CdTe og amorf silicium. Nedenstående figur viser de bedste effektiviteter, der er opnået på forskningsniveau inden for de forskellige teknologier.



Solceller baseret på farvestoffer og organiske absorbere forskes der meget i, da de har potentiale for at blive meget billige, men time-to-market er relativt lang og der er masser af holdbarhedsudfordringer, der skal overvindes. Tandemceller er også et interessant felt, hvor der kan opnås meget høje effektiviteter, da en langt større del af solspektret udnyttes. Desværre kompliceres fremstillingsprocessen også gevaldigt, men fremtidens solcelle er helt sikkert en tandemcelle baseret på flere halvlederovergange. På denne måde er den teoretiske effektivitet tæt på 90%. For nuværende bruges de tandemceller man fremstiller, der har effektiviteter på helt op til 40% kun i rumindustrien og som koncentratorceller, hvor lys fra et stort areal koncentrerer ned via specialoptik på et lille område, hvor solcellen er placeret. Her kan fx lys fra et 1000x større areal koncentrerer ned og bruges effektivt af en lang mindre solcelle (som dog er ekstremt dyr). Dette kræver flerakset trackerudstyr for at optikken hele tiden sørger for at sollyset rammer solcellen, da blot små afvigelser vil brænde solcellen af. Så skulle der spares noget på solcellen sættes det til i avanceret trackerudstyr.

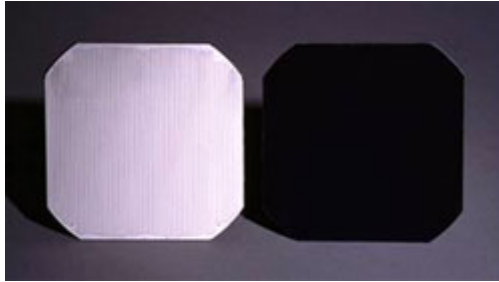
### Kommercielt

De solceller, der for nuværende giver mest mening for anvendelse i solcelledrevne LED lamper er umiddelbart siliciumbaserede celler. De monokrystallinske er klart at foretrække, da de er gode i lavtlysbetingelser og har en høj effektivitet. De mest effektive er af fabrikatet SunPower og har følgende udseende:

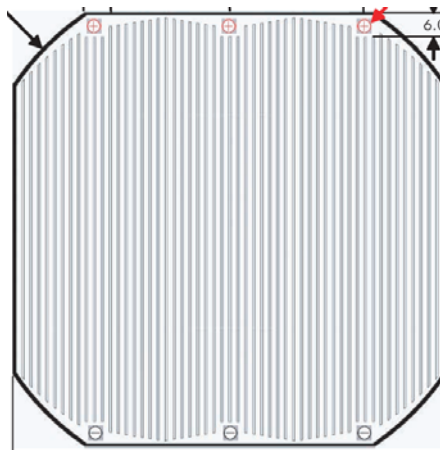
---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---



Til venstre ses bagsiden mens forsiden ses til højre. Designmæssigt er det en meget flot solcelle, der ingen lederbaner har på forsiden, hvilket giver et flot og homogent udseende. Den antirefleksive belægning giver cellen et næsten sort udseende. Denne solcelle har en effektivitet på ca. 22% og er den bedste på det kommercielle marked. Cellen har den begrænsning, at den ikke kan opskæres på samme måde, som andre celler kan. Det er tilfældet da lederbanerne ser ud som nedenstående:



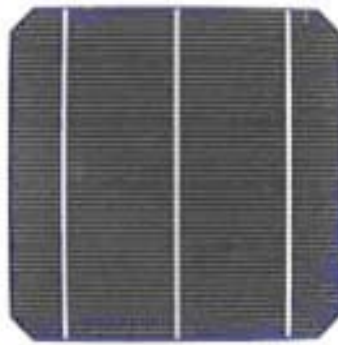
De positive og negative poler er placeret i enderne (markeret som + og minus på tegning) så skæres horisontalt forsvinder den ene pol. På den anden led er det kun muligt at skære lige midt mellem polerne (da disse ellers forsvinder) således at cellerne opdeles i tredjedele. Det begrænser lidt den geometriske anvendelse af cellerne. Grunden til at man ønsker at opskære cellerne er, at de kun giver 0,5 V i driftspunktet, og det er meget svært at lade et batteri med denne lave spænding. Man skal helst op på ca. 5V for at lade fx et Li-ion batteri op. Dette kan man dog gøre med step-up convertere, men det kræver også energi at drive disse, så det er en hårfin energioekonomisk betragtning. Og med 0,5V er det ikke muligt at starte nogen af de step-up kredsløb, der er på markedet i dag. I stedet forbindes solcellerne i serie bidragende 0,5V fra hver. Disse solceller er derfor kun anvendt, hvor geometrien giver mening.

Solceller på 16-18 % fra den tyske virksomhed Ersol er udvalgt som fornuftige til anvendelse i de produkter, hvor yderligere opskæring end den SunPower cellerne giver mulighed for er nødvendig. Cellerne fra Ersol ser således ud:

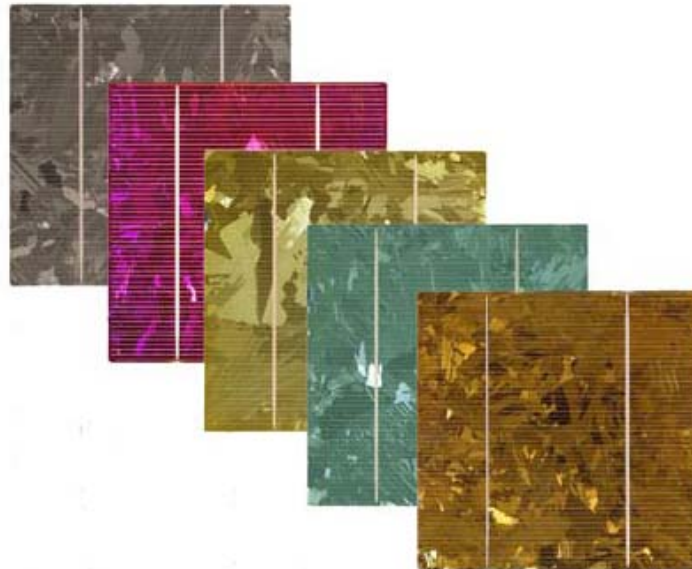
---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---



Disse fremtræder også næsten sorte – især når de bliver lamineret ind i produkterne. Af designmæssige årsager har det også været ønskeligt at undersøge markedet for solceller, der giver mulighed for specielle designmæssige udtryk. Solceller fra Sunways kan ses nedenfor:



Silicium er som udgangspunkt gråt og man kommer derfor en antirefleksiv belægning af  $\text{Si}_3\text{N}_4$  på for at øge effektiviteten. Når den dybblå traditionelle farve opnås fås den optimale effektivitet. Men ved andre belægningstykkelser end den givende den blå farve opnås andre farver. Solcellerne ovenfor har effektiviteter i området 11-14%. Det er meget få producenter der fremstiller celler med andre farver end blå – og grundet den store efterspørgsel på energieffektive celler er det næsten umuligt at opdrive andre farver end blå celler da man skal betale for omstilling af produktionslinien og tabt fortjeneste i denne periode (hvilket ikke er billigt).

### **3.4 Batteriteknologi**

For at finde det mest relevante lagermedie til energien opsamlet af solcellerne er lavet et batteriteknologistudie.

### Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

De teknologier der er relevante at kigge på er Pb-gel, NiMH og Li-ion. NiCd og andre miljømæssigt mindre attraktive er valgt ikke at kigge nærmere på, da de som udgangspunkt bryder med konceptet om at lave miljøforbedrende løsninger. Pb-gel gør egentlig også dette, men det er den foretrukne batteritype i større solcelleanlæg, og derfor er der valgt alligevel at kigge på dette. Nedenfor er vist nogle sammenlignende data for de forskellige teknologier:

|        | Energi           | Temperatur  | Selvafladning | Cycler                          | Pris   |
|--------|------------------|---|---------------|---------------------------------|--|
| Pb-gel | 25 Wh/kg         | > 0°  | 3-20% pr. md  | 300                             | Lav<br>0,15\$ pr. Wh                               |
| NiMH   | 100 Wh/kg        | > 0°  | 30% pr. md    | 500-1000<br>Har<br>memoryeffekt | Mellem   |
| Li-ion | 130-200<br>Wh/kg | < -20°<br>Bliver ikke<br>ødelagt blot<br>langsomt | Meget lav     | >1000                           | Høj<br>1\$ pr. Wh<br>Billigere ved<br>høje styktal |

Da de knappe energimæssige scenarier primært er at finde i vintermånederne i Danmark er det vigtigt, at batterierne også fungerer optimalt i dette tidsrum, der typisk er meget koldt (<0°C). Li-ion er umiddelbart det eneste batteri der er optimalt til disse betingelser (selvom man dog kan få nogle modificerede blybatterier der fungerer nogenlunde under disse betingelser). Da vi arbejder med knappe energireserver er selvafladning meget vigtigt at minimere. Her klarer Pb og NiMH sig også signifikant dårligere end Li-ion. Antallet af cycler er af højeste relevans, da dette er afgørende for, hvor ofte batterierne skal skiftes. Li-ion er igen bedst her. Memory effekten i NiMH er nærmest dræbende for deres anvendelse i især solcelleprodukter, hvor det vil være relevant at gemme energi mellem dagene, for at udligne mellem lysmæssigt forskellige dage. Det vil betyde, at batteriet meget sjældent bliver dybdeafldt og dermed vil memoryeffekt med stor sandsynlighed indtræde og ødelægge batteriet. Det eneste, der taler imod anvendelse af Li-ion batteriet er faktisk prisen. Det skal dog nævnes, at Li-ion batteriet har nogle faremomenter ved forkert opladning. Heldigvis sælges de fleste Li-ion batterier med et beskyttelseskredsløb der hindrer forkert opladning (samt overopladning) således at sikkerheden opretholdes ved disses anvendelse og eksplosionsfare undgås.

### 3.5 Lysforhold

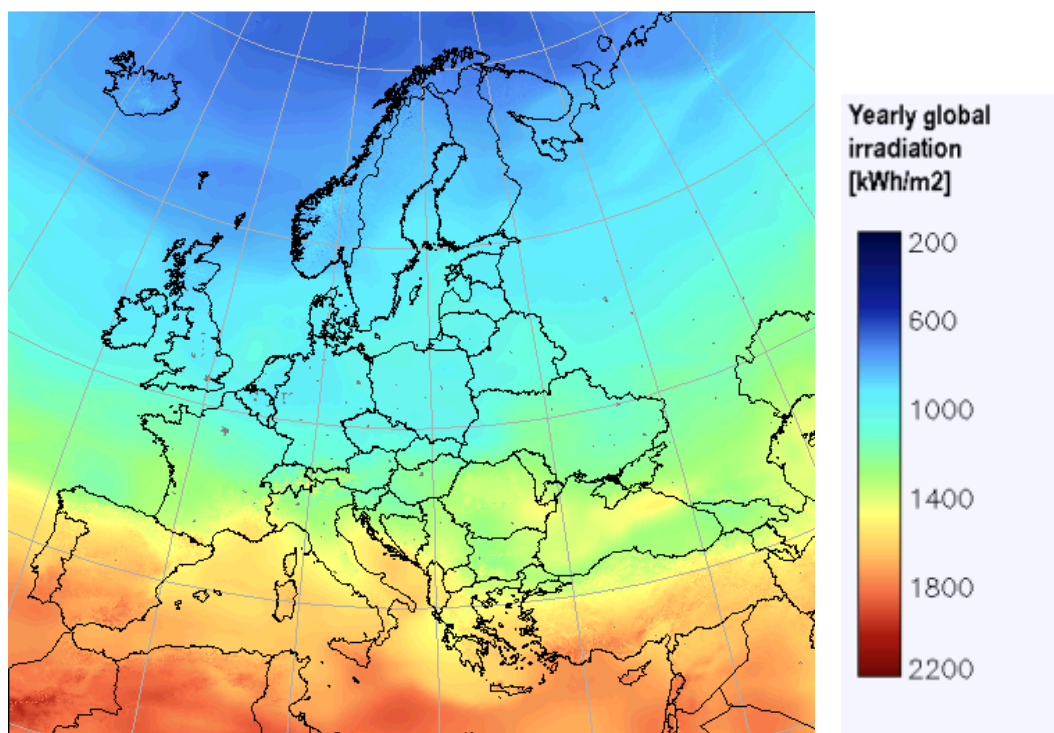
For at undersøge de umiddelbare lysforhold produkterne måtte rammes af er udført et lysstudie. Der findes ikke data for, hvordan lysforholdene egentlig er i byrummet, så der må tages udgangspunkt i de målinger, der laves på tagflader i forskellige vinkler verden over og ekstrapoleres for at dimensionere produkterne.

På nedenstående figur er vist den årlige globalindstråling på en vandret flade, hvilket er den traditionelle vinkling af solcellelamper. Det ses at hele norden har stort set samme lysforhold ligesom det meste af Nordeuropa faktisk ikke adskiller sig mærkbart fra lysforholdene i Danmark.

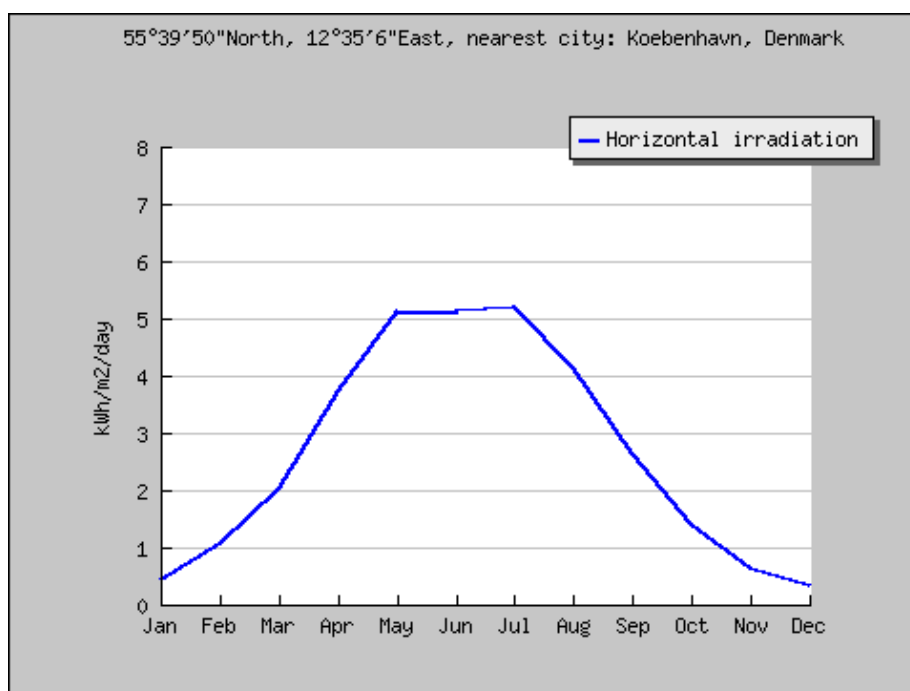
---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---



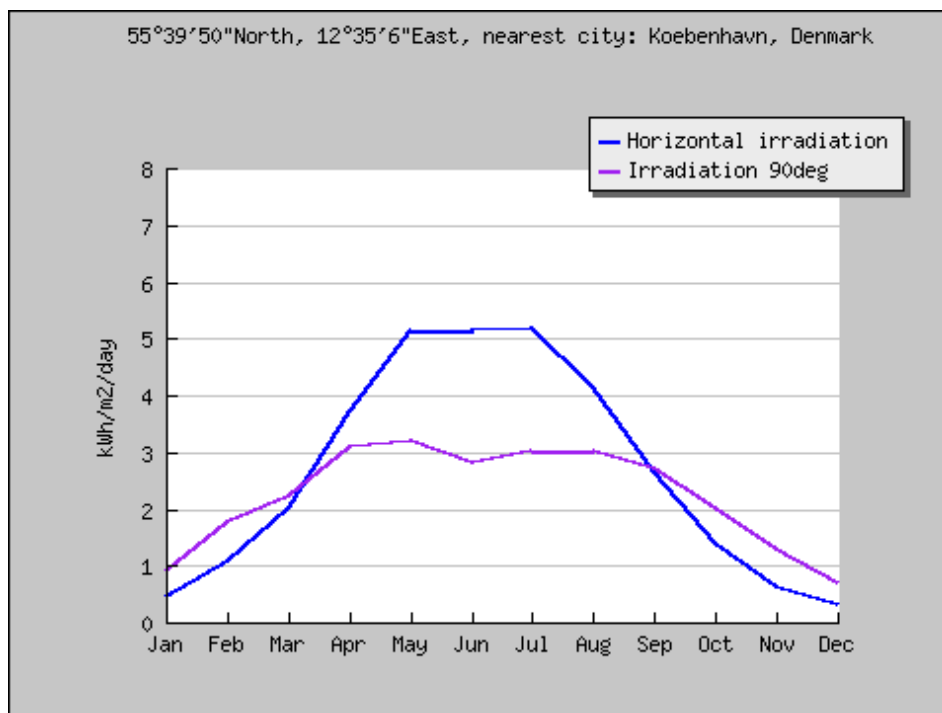
I København fordeler lyset sig i gennemsnit som vist på nedenstående figur henover månederne i året.



Der er altså ca. 10 gange mere lysenergi til rådighed om sommeren end der er om vinteren. Endvidere er den mørke periode ca. 4 gange så lang om vinteren de korteste dage som de længste dage om sommeren. Man kan altså tale om en faktor 40 i energimæssig forskel mellem sommer og vinter (worst case/best case). Så skal man have det samme belysningsniveau i alle de mørke timer kræves teoretisk et 40 gange større

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

solcelleanlæg om vinteren end om sommeren. Og hertil er ikke indregnet at solcellernes effektivitet forringes i dårligere lysforhold (dog bliver de bedre ved lavere temperatur). Da der haves begrænset plads i applikationerne og solceller i øvrigt er relativt dyre er det nødvendigt med intelligent elektronik for at optimere det lys, der kommer ud af den opsamlede solenergi. En interessant observation er, at ved vinkler over 60° i forhold til vandret (sydvendt) forbedres lysindfaldet på solcellerne om vinteren markant, mens det forværres om sommeren, hvor der i forvejen er rigelig energi at gøre med. Nedenstående sammenlignende figur viser dette.



Det stiller dog pludselig nogle placeringsmæssige krav, hvis solcellerne pludselig tiltes. Vendes solcellerne nemlig væk fra syd ser billedet meget værre ud og er særdeles skræmmende ved vinkling mod nord.

### 3.6 Elektronik

Det der binder alle komponenterne sammen er elektronikken. Der er i projektet indledt studier af udvikling af intelligent elektronik til solcelledrevne LED produkter, ligesom der i nogen grad er udviklet elektronik til nogen af de frembragte produkter.

#### Basisfunktioner

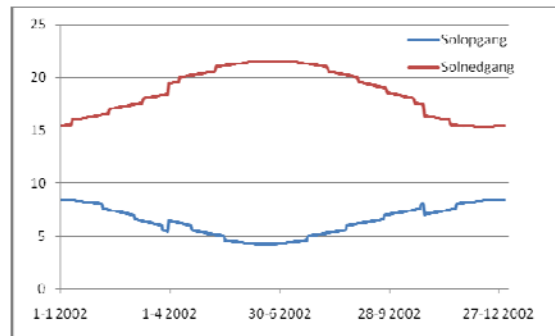
Kredsløbet skal indeholde et ladekredsløb, der oplader batteriet fra energien, der rammer solcellerne. Endvidere skal der implementeres LED styring til LED'erne. De funktioner der er adresseret i projektet for at gøre energiforbruget mere intelligent er følgende:

#### Døgnrytme

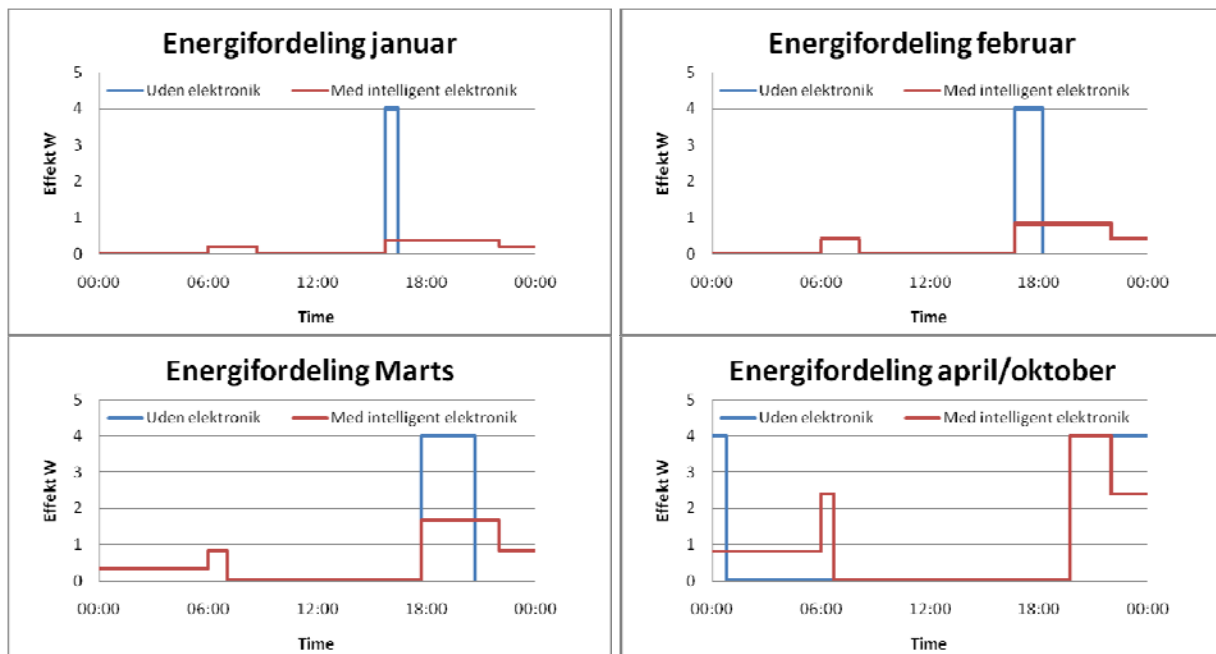
Det er relevant for lampen at kende til den nogenlunde placering på året, da den så opnår kendskab til længden af den mørke periode og kan økonomisere med energien optimalt. Fx er det mere relevant at lyse relativt kraftigere i aftenperioden, hvor der er flere mennesker på gaden end midt om natten, hvor lyset gør langt mindre gavn. Kendskab til natlængde kan opnås fx ved at måle solopgang og nedgang og dermed

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

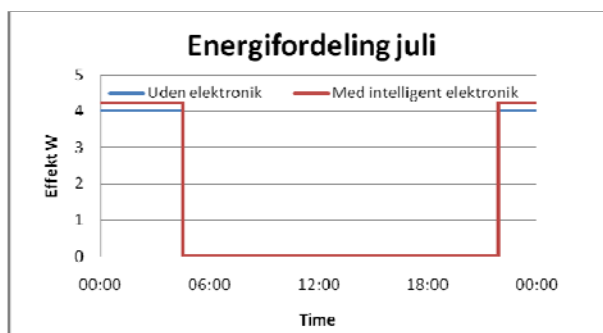
daglængdevariationen fra dag til dag. Dette kan fx gøres via lysføler implementeret i systemet (evt. kan solcellerne bruges). Da dagslængdens variation kan findes på en karakteristisk kurve (se nedenfor) kan enheden få kontrol over ca. datomæssig placering og tid.



En anden mulighed er implementering af en urfunktion i lampen, der modtager tiden fra fx Frankfurtsenderen. Dette gør lampen uafhængig af lysmålinger og den kan derfor ikke aktiveres ved fx at dække lysmåleren til. Hvis flere lamper er placeret tæt vil disse også tænde samtidig, hvis de er programmeret ens. Energimæssigt er en urløsning meget attraktiv da et modtager modul til dette anvender få mA til at hente tiden med og ganske få  $\mu A$  i standby. Tiden behøver kun synkroniseret fx en gang om ugen og ved opstart af lampen ved ibrugtagning (samt, hvis den evt. har været løbet helt tør for strøm). Ved at lampen kender tid og dato kan den sammen holde dette med kendskab til, hvornår går ned og står op og kan økonomisere med energien efter nogle kriterier. Nedenstående er eksempler på intelligent styring i forhold til ingen intelligens.



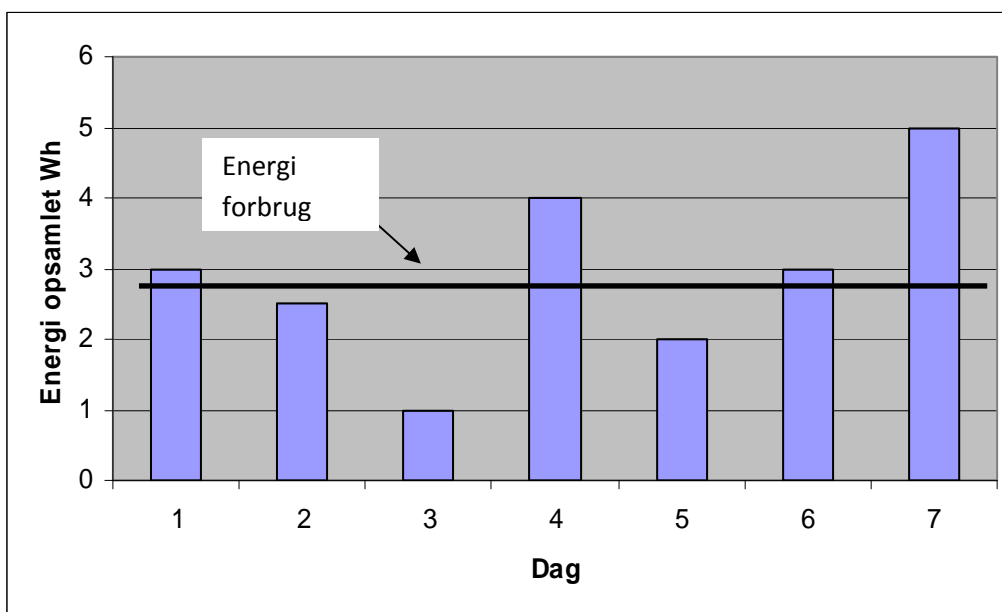
## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning



De blå kurver viser, hvordan en traditionel solcellelampe uden styring vil fungere, og den røde kurve er med intelligent styring. Det er den anvendte effekt fra den opsamlede solcelleenergi der er afbildet på y akserne. Det man ikke kan se er lysudbyttet, som bliver bedre for LED'erne ved lavere effektforbrug. Alt i alt bliver der flere lumens ud af den opsamlede energi via den intelligente løsning, og fordelingen af dem ud over de mørke timer bliver signifikant bedre.

### Energiøkonomisering mellem dage

Udjævningsfunktion således at kredsløbet lærer af den energimængde, der er til rådighed fra solen og anvender den i en fladere fordeling. Der foreslås at kigge på en periode på 7 dage.



Dette er relevant således at dagens lysniveau ikke afspejles i lampes lysfunktion. Dette kræver at batterikapaciteten tillader det, hvilket vil sige denne skal være flere gange større end det maksimale forbrug man nogensinde vil bruge på en nat.

### Bevægelsesfølsomhed

I nogen produkter vil de være relevant at ændre lysmængden når brugeren nærmer sig. Fx skrues op når en person er tæt på lampen. Afspilning af et andet lysprogram når brugeren er i nærheden er et andet scenarium. Kan være bevægelse, lys, varme eller andet fra personer der nærmer sig. Funktionen skal kun være aktiv, når der vurderes at være energi til det. Lysmængden ændrer sig, når brugeren sætter sig på



---

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

---

f.eks. bænke eller pullert. Måske skrues op, når man sætter sig og/eller den blinker, når man sætter sig (ala Mac's blå linie i bærbar PC). Integration af en PIR sensor i lampen kan give den ønskede funktionalitet.

### Lysfade i skumringsperioden

I skumringsperioden laves en fadefunktion, således at der lyses med kraftigere styrke efterhånden som det bliver mørkt. Fadefunktion er generelt æstetisk og bør kombineres med alle de forskellige skift i lysniveauer om de så introduceres via PIR sensor eller tidsintervaller.

Der er i projektet kigget på adskillige andre muligheder for implementering af intelligens, men kun ovenstående har det været muligt at gå nogenlunde i dybden med.

## 3.7 Optik

For at opnå den bedst mulige indkobling af lys til solceller samt udkobling af lys fra LED'erne er set på diverse gelsystemer. Der skal ikke gås i detaljer med det her, blot nævnes at det er relevant at anvende nogle indekssmatchende fyldstoffer for at minimere refleksioner.

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

## 4. DESIGN

Design og formgivning af produkter har været og er Danmarks særkende indenfor mange områder og i dette projekt har det også været et udgangspunkt, at der ønskedes at arbejde med æstetisk flotte produkter, hvor design og teknologi skulle gå fornemt hånd-i-hånd – uden nogen af partnerne fik overvægt. Det har også været et udgangspunkt, at kan vi sammenbringe de 2 verdener og deres aktører (arkitekter og ingeniører) kan vi opnå en fornem symbiose.

### Mål

På LYSETS DAG den 12.9.07 i Øksnehallen at præsentere 2-4 udvalgte designs/koncepter indenfor uderumselementer med solcelledrevet LED-lys.

### Produkt-specifikation - pullerter og uplightere til det offentlige rum

Nedenstående produktkrav er fremkommet i forbindelse med markedsanalyser og kundeinterview (8 stk.) og er anvendt overfor designerne i forbindelse med nye designs.

#### Eltekniske krav

Nem adgang til installation og servicering  
Markedsgodkendte komponenter og lyskilder  
Klasse II (dobbeltsoleret)

#### Lystekniske krav

Orienterings- og ledelys  
God farve-temperatur og lys-effektivitet  
Rotations, symmetrisk eller asymmetrisk lys

#### Mekaniske krav

Levetid  
Hærværkssikker  
Akseltryk (+ sneplov..)  
Nem montage, servicering og vedligehold  
Høj tæthed(IP)-klasse

### 4. 1 Processen

Med udgangspunkt i et kort designbrief og et antal infomøder blev 21 forskellige danske professionelle designere og arkitekter briefet vedr. idéen om at designe nye byrumsinventar med solcelledrevet LED-lys. Resultatet blev **25 modtagne designforslag, heraf 16 med lys.**

Af ovennævnte 16 potentielle designforslag blev der den 1. april 07 **udvalgt 10 som værende bæredygtige** og så interessante, at projektgruppen ønskede at arbejde videre med dem.

Udover de 2 projektdeltagende designere (FAKTOR 3 og Mads Odgård), der har hver sin erfaring indenfor området, deltog andre danske designere/arkitekter, der alle arbejdede uden betaling for anvendt tid, idet de opnår en royalty(fee) ved evt. salgsrealisering på et senere tidspunkt.

De 10 designs på shortlisten den 1.4.07 var fra:

FAKTOR 3 (2 designs), Mads Odgård, Henrik Sørig Thomsen, IdHouse, PLH-design, MadeByMakers, Nils Grunnet-Jensen, Rikke Frost og Kristine Jensen.

---

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

---

Det var planen at ud af bruttolisten på de 10 designs skulle der udarbejdes design- og funktionsmodel på ca. 8 af dem og i procesforløbet skulle antallet reduceres til først 3-4 af de bedste – resulterende i 2-3 finalister ved projektafslutning.

I processen fravalgtes i maj 07 dog 3 designs (PLH-design, Rikke Frost og Kristine Jensen) og igangsatte **designmodeller på 7.**

Disse 7 designs blev der udarbejdet tekniske specifikationer til. På LED siden er det blevet gjort igennem en søgning og udvælgelse af de bedste kommercielt tilgængelige LEDs, med hensyn til energieffektivitet, farveegenskaber og lysudstrålingsegenskaber. De udvalgte LED er testet og karakteriseret i RISØs LED LYS Laboratorium. Ud fra den målte spektralfordeling beregnes farvetemperatur og farvegengivelsesegenskaber. Den totale lysstrøm bestemmes som funktion af operations-strøm, -spænding og -temperatur, hvoraf energieffektiviteten kan bestemmes. Til de specifikke anvendelser er fundet den bedst anvendelige LED type og det optiske system designs igennem antal og fordeling af LED enheder og optiske komponenter, således at den ønskede lysfordeling opnås under optimering af energiforbruget.

### 4. 2 Systemet

Designer: Henrik Sørig Thomsen



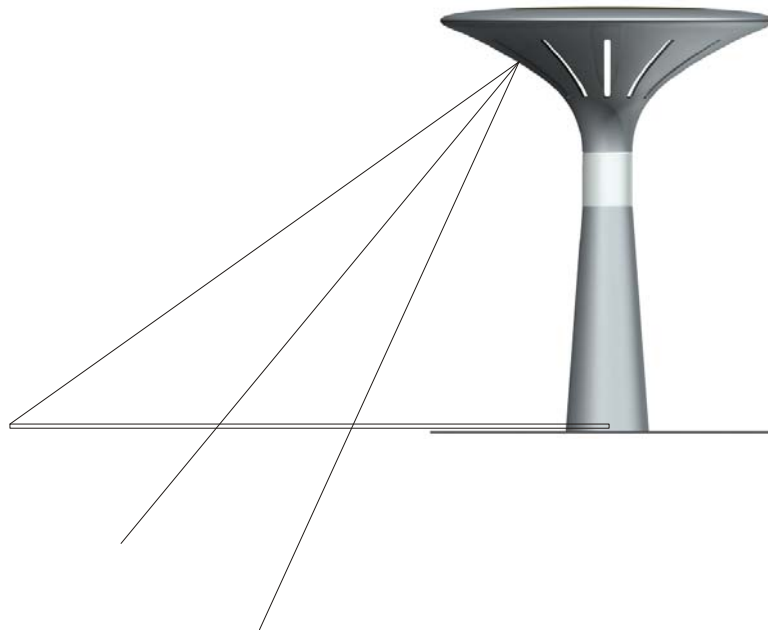
*Nye spændende cirkulære designelementer til byrummet. Bundet sammen i en formation danner de rum i rummet. Det solcelledrevne lys i siddepullerten understøtter formen - og skaber miljø samt sikkerhed i de mørke timer. Stærke materialer, behageligt at sidde på og behager øjet...*

#### LED

Til system siddepullerten benyttes 8 stk (til de 8 riller) high power LEDs (LXK2-PWN2-S00) med en kollimerende linse og en spredende og homogeniserende holografisk diffuser.

Herunder er vist et billede af stolen med lysstråle vinkler fra en rille. Lyset fra LEDen tilpasses således at mest muligt lys kobles ud af rillen. Der benyttes en asymmetrisk holografisk diffuser som giver en asymmetrisk stråle, med en divergensvinkel på 5 grader i den ene retning og 30 grader i den anden retning. Den spreder således lyset mest langs rillen og dermed opnås en energioptimeret løsning til denne model.

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning



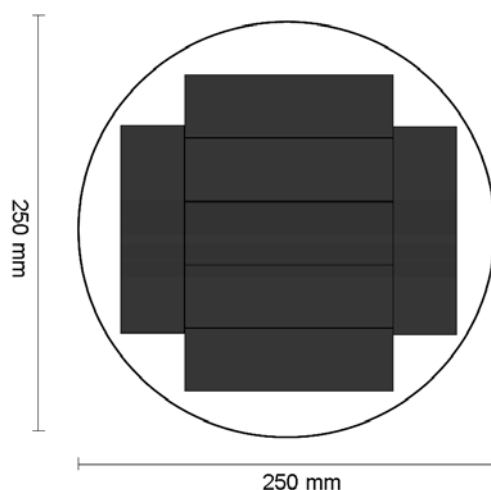
Driver elektronikken dimensioneres således at operationsstrømmen er ca. 100 mA for hver af de 8 LEDs. Herved opnås en lysstrøm på 23 lm fra hver LED med en energieffektivitet på omkring 71 lm/W. Når kollimereingslinserne og den asymmetriske holografiske diffuser er monteret på hver LED er målt en lysstrøm fra hver enhed på  $20 \pm 0.5$  lm, hvilket giver en total lysstrøm på 160 lm.

### Batteri

3 x Li-ion 2850 mAh

### Solceller

Sunpower A-300



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF TYPICAL CELL AT STANDARD TEST CONDITIONS (STC)**  
STC is defined as: irradiance of 1000W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5g and cell temperature of 25°C

|                        |               |
|------------------------|---------------|
| Open Circuit Voltage:  | 0.680V        |
| Short Circuit Current: | 2.03A         |
| Maximum Power Voltage: | 0.575V        |
| Maximum Power Current: | 1.85 A        |
| Rated Power:           | 1.0W $\pm$ 5% |
| Efficiency:            | Up to 20.8%   |

#### Temperature Coefficients

|          |             |
|----------|-------------|
| Voltage: | -1.9mV / °C |
| Power:   | -0.38% / °C |

Der tages udgangspunkt i et 7 W panel som består af 7 solceller af areal hver især på 3,8 cm x 12,5 cm og har en effektivitet på >20% ved lysindstråling på 1000 W/m<sup>2</sup> og lysforhold svarende til AM1.5. Dette svarer

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

til blå himmel en sommerdag med en lysindstrålingsvinkel på 48,2° fra lodret, hvilket er standard for solceller.

| <b>Energi</b> | <b>Månedligt gennemsnit Wh/d</b> |
|---------------|----------------------------------|
| January       | 3,25                             |
| February      | 6,17                             |
| March         | 11,81                            |
| April         | 20,32                            |
| May           | 28,57                            |
| June          | 28,14                            |
| July          | 28,09                            |
| August        | 22,56                            |
| September     | 15,22                            |
| October       | 8,67                             |
| November      | 4,31                             |
| December      | 2,87                             |

**Elektronik**

Ur, PIR sensor.

**4.3 Byens smykke**

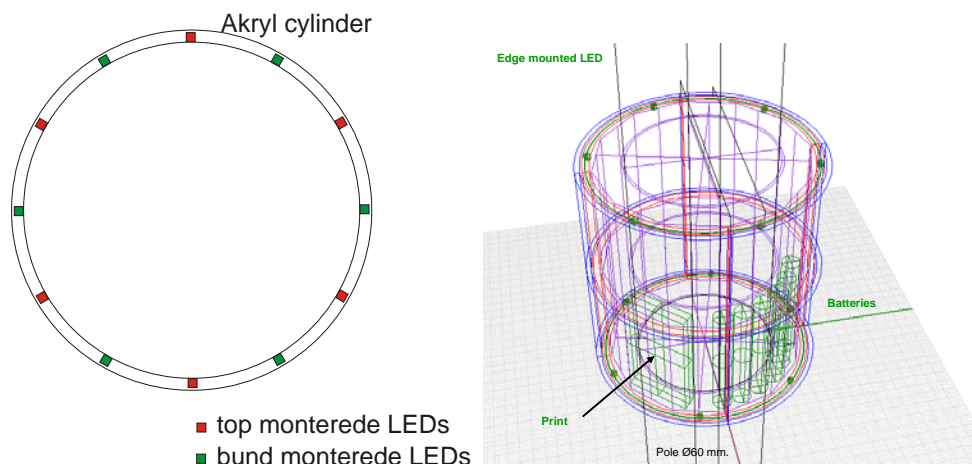
Designer: FAKTOR 3

*Lys overalt i byen, hvor der findes en pæl, mast eller rør. Lad fantasien blomstre og solen levere strømmen. En lysende cylinder, der nemt clipses på master i byen. Solcellerne på fladen og LED'erne i top og bund sikrer, at der via PC-cylinderens mønstre ledes "gratis" lys ud. Robuste og vandalsikre komponenter.*

**LED**

Til byens smykke skal der kobles lys ind i en akryl cylinder med en godstykkelse på 4-6 mm. Diameteren af akryl cylinderen er ca. 120 mm. Det er valgt at benytte den varm hvide TopLED og der anvendes 12 stk. LEDs, hvor der placeres 6 stk i hver ende af cylinderen efter et mønster som vist på tegningen herunder:

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning



### Batteri

Litium ion

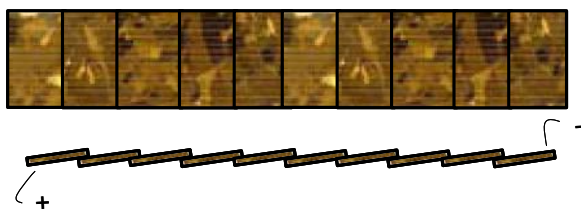
Størrelse : 6xAAA

### Solceller

12 solcellestave af: 20 mm x 98 mm

Total 235 cm<sup>2</sup>

For at få spændingen op til >5 V sammensættes hver stav af 10 enkeltstykker af en centimeters længde og 2,0 cm bredde:



### Sunways brune polykrystallinske solceller

| One sun  |        | Fillfactor* (%) | V <sub>OC</sub> * (mV) | I <sub>SC</sub> * (A) | V <sub>Fix</sub> * (mV) | I (V <sub>Fix</sub> )* (A) | Performance* at V <sub>Fix</sub> (Watt) | Efficiency* with MPP (%) |
|----------|--------|-----------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|---|--------------------------|
| CH803501 | grey   | 75.2            | 603                    | 3.91                  | 510                     | 3.46                       | 1.77                                    | 11.4                     |
| CH803702 | red    | 74.2            | 614                    | 4.08                  | 510                     | 3.65                       | 1.86                                    | 12.0                     |
| CH803903 | brown  | 75.5            | 611                    | 4.30                  | 510                     | 3.88                       | 1.98                                    | 12.7                     |
| CH804004 | yellow | 75.8            | 616                    | 4.36                  | 510                     | 3.98                       | 2.03                                    | 13.0                     |
| CH804305 | green  | 75.6            | 616                    | 4.66                  | 510                     | 4.25                       | 2.17                                    | 13.9                     |

Standard test conditions (STC): light spectrum AM = 1.5; irradiation intensity E = 100 mW/cm<sup>2</sup>; cell temperature T<sub>C</sub> = 25°C

Ved anvendelse af brune polykrystallinske celler fås følgende:

5" celler : 1,98 Wp

Hver solcellestav i byens smykke: 0,25 Wp

Total effekt: 12 \* 0,25 Wp = 2,98 Wp

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

### Antagelser

Antagelse: 50 % tab

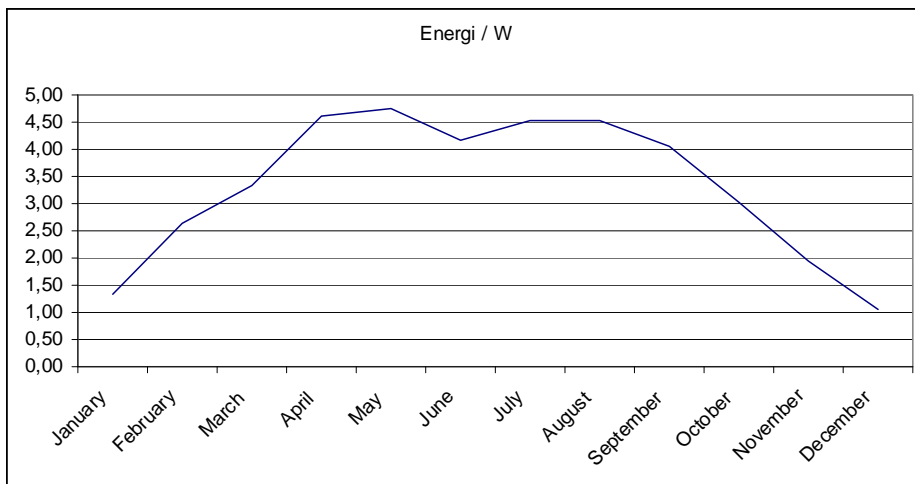
Rimelig placeret i forhold til mulighed for direkte sollys

Skygning fra prægning af akrylplade

Akrylpladen selv

### Energiregnskab total

Total med ovenstående antagelser – se tabel til højre og figur nedenfor



| Måned     | Energi / Wh |
|-----------|-------------|
| January   | 1,34        |
| February  | 2,64        |
| March     | 3,33        |
| April     | 4,61        |
| May       | 4,76        |
| June      | 4,18        |
| July      | 4,52        |
| August    | 4,54        |
| September | 4,04        |
| October   | 3,03        |
| November  | 1,94        |
| December  | 1,06        |

### 4.4 Chaussesten (brosten)

Designer: FAKTOR 3

*Chaussesten lagt i en perlerække, afbrudt af sten der lyser, og skaber stemning i uderummet. I samme størrelse og form som stenen er skabt et nyt produkt, der via sollyset oplades om dagen og automatisk afgiver lys, når mørket falder på. Herved skabes atmosfære, større sikkerhed samt mulighed for ledelys.*



### LED

I chaussestenen anvendes 8 stk varm hvide TopLEDs med 2 på hver side som belyser brostensens overflade indvendigt og lyset kobles ud i overfladens ruheder.

### Batteri

Litium ion

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

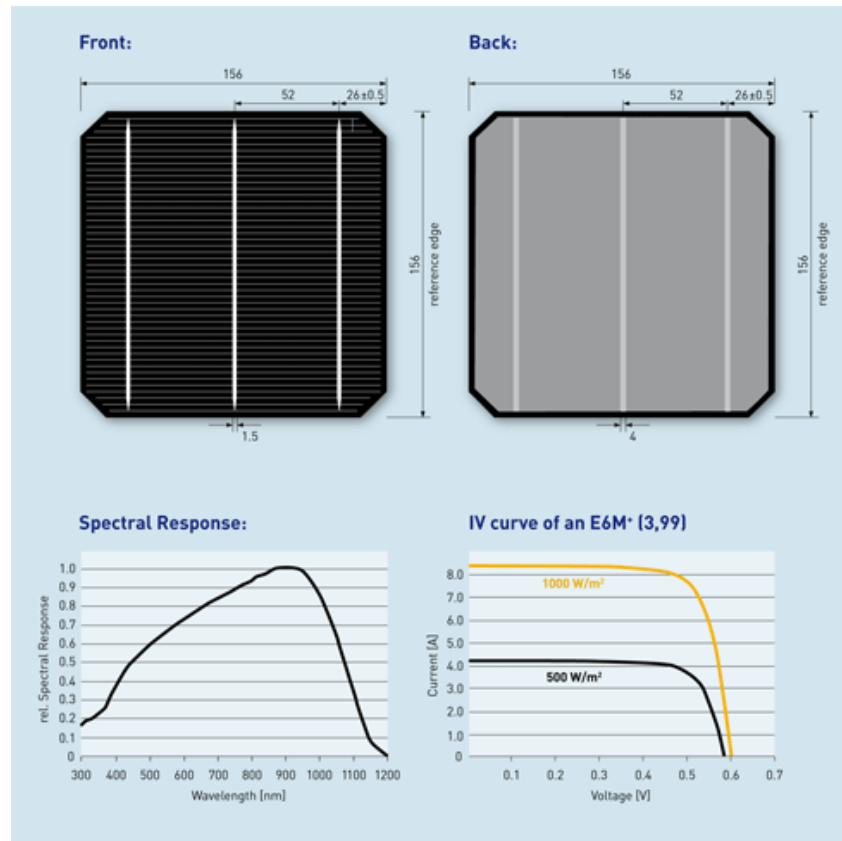
Kapacitet: 2850 mAh

### Elektronik

Ur, intelligent styring af døgnrytme.

### Solceller

Solar Cell E6M<sup>+</sup> BlackPower<sup>®</sup> 3-Busbar



| Power class | Efficiency  | P <sub>mpp</sub> * | V <sub>mpp</sub> * | I <sub>mpp</sub> * | V <sub>oc</sub> * | I <sub>sc</sub> * |
|-------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|             | [%]         | [W]                | [mV]               | [mA]               | [mV]              | [mA]              |
| 4.19        | 17.27-17.47 | 4.19               | 520                | 8070               | 617               | 8650              |
| 4.14        | 17.07-17.27 | 4.14               | 515                | 8050               | 615               | 8600              |
| 4.09        | 16.87-17.07 | 4.09               | 514                | 7970               | 610               | 8590              |
| 4.04        | 16.67-16.87 | 4.04               | 512                | 7895               | 609               | 8500              |
| 3.99        | 16.47-16.67 | 3.99               | 509                | 7850               | 608               | 8420              |
| 3.94        | 16.26-16.47 | 3.94               | 508                | 7770               | 607               | 8350              |
| 3.89        | 16.06-16.26 | 3.89               | 507                | 7685               | 605               | 8280              |
| 3.85        | 15.86-16.06 | 3.85               | 504                | 7645               | 604               | 8260              |
| 3.80        | 15.66-15.86 | 3.80               | 500                | 7630               | 603               | 8220              |
| 3.75        | 15.45-15.66 | 3.75               | 498                | 7550               | 599               | 8200              |



---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

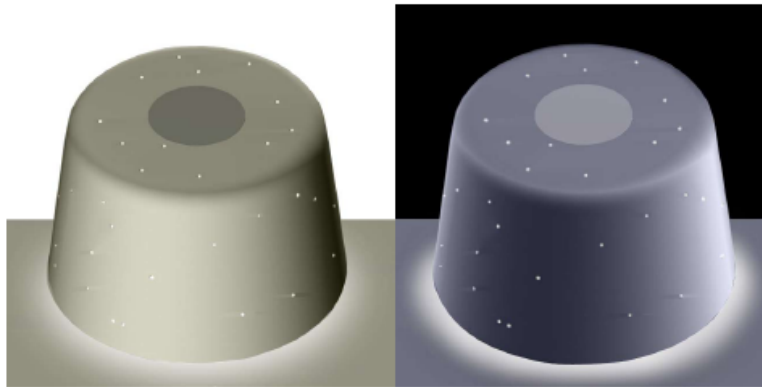
---

All electrical data measured under standard test conditions (STC): 1000W/m<sup>2</sup>. AM 1.5; 25°C; tolerance P: ±1.5% rel.\*\* Temperature coefficients:  $\alpha$  (Isc): +0.03%/K  $\beta$  (Voc): -0.37%/K  $\gamma$  (Pmpp): -0.51%/K

#### 4.5 Siddepullert/puf

Designer: Nils Grunnet-Jensen

*Dot-pullerten er en prik - hvis man ser den højt fra himlen. Anvendt som repetitioner opleves de som puffer med lysende stjernemønstre om aftenen – hvor lyset betales af Vorherre. Robuste og vandalsikre materialer i et rent formsprog. Siddeplads til en eller flere personer, men også designet i en lang udgave - Line - til ca. 3 personer, og anvendt sammen opnås en flot lysende formation i byrummet.*



##### LED

I dot-siddepullerten ønskes en belysning af en række huller i top og siden af pullerten. Dette opnås ved at skabe en jævn belysning af indersiden af pullerten ved benyttelse af 5 stk high power neutral hvide LED fra LumiLEDs (LXK2-PWN2-S00) med en farvetemperatur på omkring 4200 K. De 5 LEDer der hver har en stor udstrålingsvinkel på 140 grader monteres således at de samlet giver en jævn belysning af indersiden, som males hvid for at skabe en god refleksion og dermed en yderligere homogenisering af lysfordelingen på indersiden. De 5 LEDer drives således at operationsstrømmen er ca. 100 mA og således at den totale lysstrøm er ca. 115 lm med en effektivitet på ca. 70 lm/W.

##### Batteri

Litium ion 3x2850 mAh

##### Elektronik

Ur, PIR sensor – intelligent energifordeling.

##### Solceller

Sunpower A-300 – 7 stykker i serie.

## Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning

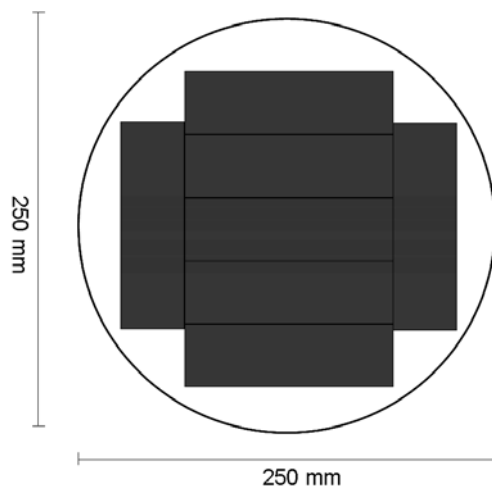
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF TYPICAL CELL AT STANDARD TEST CONDITIONS (STC)**  
 STC is defined as: irradiance of 1000W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5g and cell temperature of 25°C

|                        |             |
|------------------------|-------------|
| Open Circuit Voltage:  | 0.680V      |
| Short Circuit Current: | 2.03A       |
| Maximum Power Voltage: | 0.575V      |
| Maximum Power Current: | 1.85 A      |
| Rated Power:           | 1.0W ± 5%   |
| Efficiency:            | Up to 20.8% |

### Temperature Coefficients

|          |             |
|----------|-------------|
| Voltage: | -1.9mV / °C |
| Power:   | -0.38% / °C |

Der tages udgangspunkt i et 7 W panel som består af 7 solceller af areal hver især på 3,8 cm x 12,5 cm og har en effektivitet på >20% ved lysindstråling på 1000 W/m<sup>2</sup> og lysforhold svarende til AM1.5. Dette svarer til blå himmel en sommerdag med en lysindstrålingsvinkel på 48,2° fra lodret, hvilket er standard for solceller.



| Energi    | Månedligt gennemsnit Wh/d |
|-----------|---------------------------|
| January   | 3,25                      |
| February  | 6,17                      |
| March     | 11,81                     |
| April     | 20,32                     |
| May       | 28,57                     |
| June      | 28,14                     |
| July      | 28,09                     |
| August    | 22,56                     |
| September | 15,22                     |
| October   | 8,67                      |
| November  | 4,31                      |
| December  | 2,87                      |

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

**4.6 Byggesystem/Brio**

Designer: Made by Makers

*Skab nye miljøer og selvstændige rum. Den buede siddeflade initierer kontakt og dialog - og det integrerede solcelledrevne lys i pullerterne skaber stemning og sikkerhed. Sammensæt buen til en slange eller en rundkreds - aptér med lysende pullerter og affaldsbeholdere, hvor behovet er - og opnå en designmæssig sammenhæng i bymiljøet*



Teknisk blev der ikke arbejdet i dybden med dette produkt.

**4.7 Svajende siv**

Designer: ID House

*Inspirationen er et svajende siv, en rygrad og en klapperslange. Pullerterne - med kunststof-led og kraftig indstøbt fjederstål - svajer mildt i kraftig blæst eller når man hviler sig op af den. En lav, en høj og et sidde-element i samme design gør serien til et spændende objekt i byrummet. I toppen er placeret solceller og lysenhed og uden nogen form for kabling opnåes en flot lysende effekt og sikkerhed i aftentimerne - året rundt.*

Teknisk blev der ikke arbejdet i dybden med dette produkt.



---

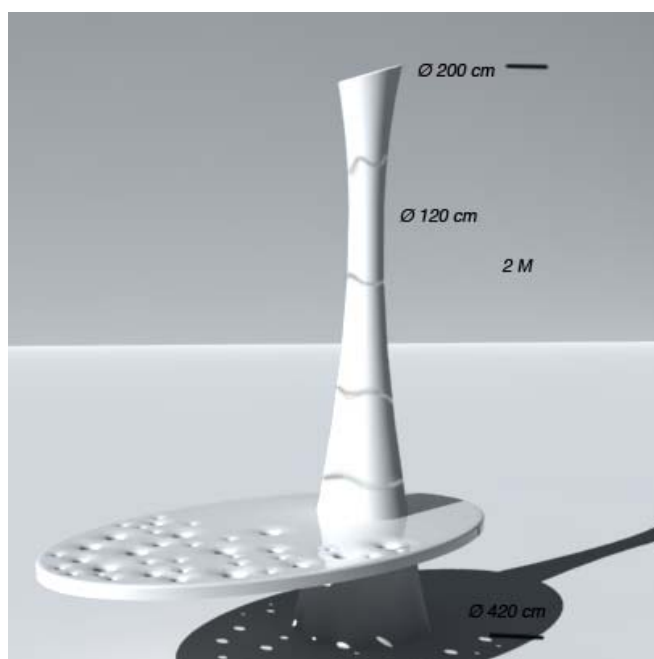
**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

## 4.8 Platformen / Siddeelement

Designer: Mads Odgård

*En helt ny platform - et nyt sidde/loungemøbel til byrummet. Flot 2m betonsøjle med forskudte flager og 18 solcelledrevne lysslidser. Søjlels form danner rygstøtte for 3-5 personer, der sidder eller flyder ud på den asymmetrisk monterede blanke glasfiberflade - der har differentierede designede vandafløb.*



Teknisk blev der ikke arbejdet i dybden med dette produkt blot foreslået følgende:

**Solcelle:** ø150mm monokrystalinsk solcelle.

**Batteri:** Li-Ion,

**LED:** 24 stk. 0.1W varmhvide.

**Elektronik:** Sensor og ur-styret.

## 4.9 Udvalgelse

Efter at have set designresultatet – og p.g.a. økonomi, tid og realiserbarhed - fravalgtes i august 07 at indbygge lys i yderligere 3 designs (IDHouse, MadeByMakers og Mads Odgård), således der blev udarbejdet **koncept/funktionsmodeller på 4 designs.**

**Resultat = de nominerede**

**Resultatet er 7 designmodeller, hvoraf 4 af dem har integreret lys.**

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

## 4.10 2 Typer produkter

Generelt kunne produkterne inddeles i 2 typer – effektlys og fladelys.

### 4.10.1 Effektllys

Det er valgt at benytte hvide high-power LEDs til 3 af de udviklede modeller, det er System siddepullert med lys, Dot-siddepullerten og Waiter pullert med lys (sivet). Sidstnævnte er ikke nået til en model med lysdioder integreret som beskrevet tidligere.

Til disse anvendelser er valgt en energioptimeret løsning hvor der benyttes flere LEDer som drives ved en lav operationsstrøm. Herved opnås den ønskede lysstrøm med en høj energieffektivitet. I princippet ville man kunne benytte en enkelt LED til at opnå den ønskede lysstrøm, men effektiviteten ville være noget lavere. Desuden er det ønskeligt at benytte flere LEDer for at opnå den ønskede lysfordeling.

Disse LEDer har en stor udstrålingsvinkel på omkring 120-140 grader og det er derfor nødvendigt at benytte optik til at styre lyset undtagen i Dot-siddepullerten hvor den store udstrålingsvinkel giver en god fordeling af lyset i pullerten. Til styring af lyset i System siddepullert og Waiter pullert er benyttet plastik kollimerings linser kombineret med holografiske diffusere som kan designes til at sprede lyset i den ønskede vinkel og samtidig give en mere jævn og homogen fordeling af lyset. Holografiske diffusere har en række fordele frem for traditionelle diffusere, spredningen fra diffuseren kan være asymmetrisk, der er mindre tab og de kan massefremstilles billigt ved sprøjtestøbning i plastik. Denne metode til fordeling af lyset fra en LED er i mange tilfælde med til at energioptimere systemet, f.eks. i siddepullerten.

Det er valgt at benytte en high-power LED med betegnelsen L XK2-PWN2-S00 fra firmaet LumiLEDs. Den har en farvetemperatur på 4200 K som betegnes neutral hvid. Se også afsnit om status for hvide LEDs. Der er foretaget en række test og karakterisering målinger på denne type LED i Risø's LED LYS Laboratorium, se afsnittet Måleresultater for K2 neutral hvid. Disse er vist i det følgende afsnit. Ra-værdien er målt til at være 69, hvilket ikke er specielt godt men svarer til hvad der forventes af kold og neutral hvide LEDs, se ovenstående afsnit om hvide LEDs. De kan dog benyttes idet der til udendørs anvendelser er ikke så høje krav til farvegengivelsen. Endvidere er strøm-spændings karakteristikken målt for denne LED således at det har været muligt at designe driver elektronikken.

### 4.10.2 Fladelys

Fælles for de solcelle baserede LED enheder i Byens smykke, Chaussestenen og Platformen er at lyset fra LED skal kobles ind i et plastmateriale og ledes heri indtil det kobles ud af plastmaterialet hvor det er ru i overfladen. Ruheder skrives i plastmaterialet for at opnå en ønsket lysudstråling fra modellerne.

Hertil ønskes en lille SMD monteret LED som kan benyttes til direkte belysning af plast emnets kant med en tæt kobling således at indkoblingstab reduceres mest muligt. En mulig komponent er LW A6SG SideLED fra Osram. Det er en sideemitterende LED, som udsender lys i en retning på 90 grader fra monteringsfladen. Afhængigt af monteringsmulighederne i lampen vil denne sideemitterende LED kunne give en god kobling til akryl cylinderen.

Fra datablad<sup>8</sup> er opgivet følgende:

- Farve koordinater:  $x = 0.33$ ,  $y = 0.33$  acc. to CIE 1931 (white)
- Farvetemperatur Typ.: 5600 K

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

- Ra-indeks: 80
- Operationsstrøm 5 – 50 mA
- Udstrålingsvinkel ved 50 % IV: 120°, (Lambertian Emitter)
- Typ. effektivitet: 50.0 lm/W white

Da det ikke er muligt at skaffe denne komponent endnu, må vi benytte en med lavere effektivitet. Her er der LW A67C der vil kunne benyttes, den har samme specifikationer som LW A6SG men en lavere effektivitet på 22 lm/W.

De her angivne LEDs har en farvetemperatur på 5600 K hvilket kan være for koldt til denne anvendelse. Det foreslås derfor at der benyttes en blanding med en LED, som skal have en bølgelængde på omkring 585 nm, disse betegnes som gul (yellow). Som yellow SideLED kan benyttes LY A67B som har en effektivitet på 24 lm/W<sup>9</sup>:

Dominant Wavelength: 587 nm yellow  
Viewing angle at 50 % IV: 120°, (Lambertian Emitter)  
Typ. efficiency: 24.0 lm/W yellow  
Wavelength group 3 (583-586 nm)

En anden type af LED der kan benyttes til kantbelysning er TopLEDs fra Osram. Her findes følgende typer i Osrams katalog: Højest effektivitet fås med TopLED LW T6SG<sup>10</sup>

Color coordinates:  $x = 0.33$ ,  $y = 0.33$  acc. to CIE 1931 (white)  
color temperature Typ.: 5600 K  
Color reproduction index: 80  
Viewing angle at 50 % IV: 120°, (Lambertian Emitter)  
Typ. efficiency: 50.0 lm/W white

Der findes også en warm white power topLED LCW E6SG<sup>11</sup>

Color coordinates:  $x = 0.42$ ,  $y = 0.4$  acc. to CIE 1931 (warm white)  
Viewing angle at 50 % IV: 120°, (Lambertian Emitter)  
Typ. efficiency: 32.0 lm/W warm white  
Operations strøm max 70 mA

Den ønskede løsning er at benytte den varm hvide TopLED, og der er lavet modeller af byens smykke og brostenen med denne LED.

#### **4.11 Funktionsmodeller**

Der blev udarbejdet 2 funktionsmodeller baseret på såvel fladelys som effektlys kategorierne. Der blev udviklet elektronik til begge modeller, der blev bygget ind i hvert sin modelkasse. Princippet i modellerne var at de skulle vise de to platforme af teknologi udviklet i projektet – uden at favorisere et enkelt produkt ved at være indbygget i netop dette. Funktionsmodellerne indeholdt udover solceller, LED og batterier også bevægelsessensor og programmering af tidsintervaller. Derved blev principperne illustreret, og der kunne direkte via en hyperterminal ændre de ønskede parametre fra en PC opstilling.

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

**4.12 Messer og udstillinger**

Alle 7 designs har været vist på 4 messer (3 DK, 1 S) og der er udarbejdet produktdatablad, plancher og 3D-visualiseringer etc. på alle 7. Ud af de 7 er **een udvalgt til markedstest (Chaussesten fra Faktor 3)**, idet den er mest realiserbar og formodentlig har størst markedspotentiale

Målet med at kunne offentliggøre og præsentere 2-4 udvalgte designs i efteråret 07 er således **til fulde indfriet**. Omkostningsmæssigt har modelarbejdet været væsentligt dyrere end antaget, men det totale budget er overholdt ved at spare på andre omkostninger.

**4.13 Fremtid**

Markedsresponsen (se evt. under Markedstest) har været størst på 3 af de 7 nominerede designs og i det efterfølgende 2008 PSO projekt 340-003 skal der markedstestes 2-3 af disse, ligesom elektronikken skal videreudvikles.

Out-sider har dog netop (marts 08) **valgt at sætte Chaussestenen i decideret udvikling og efterfølgende produktion**, således den formodentlig kommer på det danske marked allerede i slutningen af 2008. Det er også planen, at produktet skal på eksportmarkeder i 2009.

2 af de andre 6 produkter vil måske også blive videreudviklet til efterfølgende produktion i foråret 09.

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

## 5. MARKED

### Mål

At analysere/verificere et besparelspotentiale i eldrift- og installationer for lysprodukter i det offentlige rum

At udarbejde kravspecifikation vedr. produkter

At teste udvalgte designideer hos udvalgte målgrupper

At fieldteste udvalgte konceptprodukter hos udvalgte kunder

### 5. 1 Markedsanalyse - besparelspotentiale

#### Antagelse

Med den forhåndenværende teknologi indenfor de udvalgte områder antages det, at solcelledrevet LED-lys fra 1.1.08 vil kunne erstatte følgende nuværende anvendte produkter i det offentlige uderum:

- Pullerter (lede- og orienteringsbelysning af stier, pladser o.lign.)
- Inground (lede-, orienterings- og effektbelysning)

Det vil teknologisk og kommercielt være muligt at erstatte andre nuværende anvendte belysningsprodukter – såsom lygter – på et senere tidspunkt (måske senere i 2008 eller 2009).

#### Markedsvolumen

##### Pullerter

Udskiftning/renovering:

Dong Energy anvender i NESA's gamle område ca. 750 stk. pullerter om året.

Hvis det antages at dette område er ca. 1/6 af DK's behov, fås et årbehov i DK på  $750 \times 6 = 4.500$  stk./år.

Nyetablering:

Dette område antages at være mindst lige så stort som renoveringsmarkedet, hvorfor det sættes til 4.500 stk/år.

Sammenholdes det samlede pullert forbrug pr. år på 9.000 pr. år i DK med f.eks. Louis Poulsens salg af pullerter i DK (markedsleder med 1/4 af dette marked) som vurderes til at være ca. 3.000 stk. synes tallene realistiske.

##### Inground

Udskiftning/renovering:

Da produkttypen er relativ ny, er antallet af udskiftninger begrænset – men antages til at være ca. 500 stk./år (Nesa området = 100 stk. i 06)

Nyetablering:

P.g.a. nyere belysningstendenser - og hæværk af pullerter - anvendes der relativt flere inground produkter. Et antal på 8.000 stk/år for hele DK er realistisk, men da flere af disse anvendes til effektbelysning af træer, bygninger etc., vil en muligt erstatning sandsynligvis kun være ca. halvdelen, d.v.s. 4.000 stk/år.

Samlet forbrug af inground er 4.500 pr. år i DK.



---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

**Priser, satser**

En lysende pullert har en netto projektpriis på 5.000-6.000 kr. pr. stk.

En inground har en netto projektpriis på 2-3.000 kr. pr. stk

En glødelampe koster ca. 10 kr. pr. stk (Nesa område ingen gløde)

Kompaktrør koster ca. 50 kr. pr. stk

Metalhalogen koster ca. 200 kr. pr. stk.

Timepris (Dong) incl. alt = 400 kr. pr. time

Elenergi priser: 1 kwh koster f.eks. kommunen 1.12 kr

**Driftsudgifter** (primært pullerter, men regnes for alle)

Glødelampe 40-60W; levetid 2.000 timer; udgør 5% af markedet

Kompaktrør 9-42W og elektronikforbrug på ca. 3W; levetid 12.000-16.000 timer; udgør 80% af markedet

Metalhalogen 20-35W og elektronikforbrug på ca. 3W; levetid 10.000-12.000 timer; udgør 15% af markedet

Med en brændtid pr. år på 4.000 timer fås et årligt elforbrug på:

Gløde:

$13.500 \text{ produkter} \times 0.05 \times 0.050 \text{ kW} \times 4000 \text{ timer} = 135.000 \text{ kWh}$

Kompakt:

$13.500 \times 0.8 \times 0.0255 \text{ kW} \times 4.000 \text{ timer} = 1.101.600 \text{ kWh}$

Metalhalogen:

$13.500 \times 0.15 \times 0.025 \text{ kW} \times 4.000 \text{ timer} = 202.500 \text{ kWh}$

Totalt elforbrug pr. år = 1.439.000 kWh

Total eludgift pr. år =  $1.12 \times 1.439.000 = 1.600.000 \text{ kr.}$

Lyskildeudskiftning:

Gløde:

$13.500 \times 0.05 \times 4000/2000 = 1.350 \text{ udskiftninger pr. år}$

Kompakt:

$13.500 \times 0.8 \times 4000/14.000 = 3.085 \text{ udskiftninger pr. år}$

Metalhalogen:

$13.500 \times 0.15 \times 4000/11.000 = 736 \text{ udskiftninger pr. år}$

Totalt antal lyskildeudskiftninger pr. år = 3.821

Hvis hver udskiftning tager ½ time ~ 200 kroner fås en årlig arbejdsudgift på:  $3.821 \times 200 \text{ kr} = 765.000 \text{ kr.}$

Lyskildepris

Gløde:  $1.350 \times 10 = 13.500 \text{ kr. pr. år}$

Kompakt:  $3.085 \times 50 = 154.000 \text{ kr. pr. år}$

Metalhalogen:  $736 \times 200 = 147.000 \text{ kr. pr. år}$

Årlig lyskildeudgift = 315.000 kr.

Totale driftudgifter pr. år =

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

$$1.6 + 0.765 + 0.315 = 2.7 \text{ mill. kr}$$

**Etableringsudgifter:**Produkter

Pullerter:  $9.000 \times 5.500 = 49.5 \text{ mill. kr.}$

Inground:  $4.500 \times 2.500 = 11.25 \text{ mill. kr.}$

Udgifter pr. år til produkter = 60 mill. kr.

Montage

Hvis det antages, at det tager  $\frac{1}{2}$  time pr. produkt at montere en pullert/inground fås (gennemsnit af renovering og nyetablering)

$$13.500 \times 200 = 2.7 \text{ mill. kr.}$$

Kabling og installation (af nye)

Hvis kabling koster 400,- pr. meter og der gennemsnitlig er 5 m mellem pullert/inground fås:

$$650 \times 5 \times (4.500 + 4.000) = 28 \text{ mill. kr.}$$

Totale etableringsudgifter:

$$60 + 2.7 + 28 = 90 \text{ mill. kr.}$$

Besparelspotentiale:

Hvis det antages, at de nuværende pullerter og inground kan erstattes af nye produkter med solcelledreven LED-lys med 10% i år 1, 20% i år 2 og 50% i år 3, fås:

**1. Driftsbesparelspotentiale:**Elforbrug:

Ingen elforbrug p.g.a. Solceller

Besparelse:  $1.600.000 \times 0.1 = 160.000 \text{ kr. år 1}$  og  $800.000 \text{ kr. år 3}$

Lyskildeudskiftning:

Grundet LED-levetiden på min. 50.000 timer fås en levetid på:

$$50.000 / 4.000 = 12.5 \text{ år, hvilket må antages at være over produktlevetiden}$$

Besparelse:  $765.000 \times 0.1 = 80.000 \text{ kr. år 1}$  og  $400.000 \text{ kr. år 3}$

Lyskildepris:

do ovenstående.

Besparelse:  $315.000 \times 0.1 = 30.000 \text{ kr. år 1}$  og  $150.000 \text{ år 3}$

**1. Samlet driftsbesparelspotentiale:**

**År 1** (10% erstatning):  $160.000 + 80.000 + 30.000 = 270.000 \text{ kr.}$

**År 3** (50% erstatning):  $800.000 + 400.000 + 150.000 = 1.35 \text{ mill. kr.}$

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

**2. Etableringsudgifts-potentiale**Produkter:

Produkter på antages at koste mere end de nuværende og det skønnes til 1.000 kr. pr. pullert og inground  
For 13.500 produkter pr. år fås en merudgift:

År 1:  $13.500 \times 1.000 \text{ kr} \times 0.1 = 1.35 \text{ mill. kr.}$

År 3:  $13.500 \times 1.000 \text{ kr.} \times 0.5 = 6.75 \text{ mill. kr.}$

Montage:

Det antages ikke, at der kan opnås besparelse i montage

Installation og kabling:

Grundet anvendelse af solceller vil kabling helt kunne undgås:

År 1:  $28 \text{ mill.} \times 0.1 = 2.8 \text{ mill. kr.}$

År 3:  $28 \text{ mill.} \times 0.5 = 14 \text{ mill. kr.}$

**2. Samlet etableringsudgift-potentiale:**

**År 1:**  $- 1.35 + 2.8 = 1.5 \text{ mill. kr.}$

**År 3:**  $- 6.75 + 14 = 7.3 \text{ mill. kr.}$

**5.2 Markedsanalyse – fieldtest****Mål**

Vurdering af designkoncepterne i udvalgte kommuner og hos udvalgte landskabsarkitekter/arkitekter

Udvalgte produktkoncepter testes i f.eks. 2 forskellige størrelse kommuner

Umiddelbare tilbagemeldinger fra messer og udstillinger

**Baggrund**

Kunden hos kommunen er teknisk forvaltning og den specificerende er ofte landskabsarkitekterne.

For vurdering af kundernes behov, ønsker og muligheder besøgte vi 2 eller flere kommuner for at få deres vurdering af ideen og koncepterne. De besøgte kommunerne skal være af forskellige størrelse.

Samtidig besøges en del arkitekter for at få deres input.

**Proces - kommuner**

Etape 1: Kommuner udvælges + briefes

Etape 2: Tegning/prototype præsenteres for kommune + dialog/interview

Etape 3: Udvalgte konceptprodukter præsenteres for kommune + dialog/interview

Etape 4: Produktet opsættes i kommune til test

Etape 5: Evaluering af produkt efter test

**Resultat – kommuner**

4 meget forskellige kommuner besøgt og fået deres vurdering af de 7 konceptprodukter (powerpoint plancher).

I alle møderne deltog flere medarbejdere fra kommunerne, således ialt ca. 30 medarbejdere har været med til møderne.

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

Alle besøgende var meget positive over solcelleideen og de viste designkoncepter. Størst interesse var 3-4 udvalgte designs og især chaussestenen.

Albertslund Kommune

2 besøg hos teknisk forvaltning i samarbejde med Dong Energy

2 involverede eksterne arkitekter besøgt

Besøg af arkitekt Henning Larsens Tegnastue

Oplæg til prøver og finansiering udarbejdet

12 stk. konceptmodeller af Chaussesten leveret januar 08 (har været for outsider og FAKTOR 3's egen regning). Se billeder nedenfor:



---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

Frederiksværk-Hundested Kommune

2 besøg hos teknisk forvaltning i samarbejde med Dong  
Oplæg til produkter (3 forskellige) udarbejdet  
Kontakt til kommunen i november 07 vedr. mulige projekter  
Aftalt at vende tilbage, når der foreligger flere testprodukter

København Kommune

2 besøg hos Teknik & Miljø i KK om ideerne og muligt samarbejde  
Aftale med afdelingen for gårdrenoveringer om evt. samarbejde  
Sambesøg i 7 gårde i Kbh. for at vurdere muligheder + opstilling af testprodukter  
Aftalt vurdering af lysindfald i gårde og at vende tilbage, når der foreligger flere testprodukter

Aalborg Kommune

1 besøg hos AAK med ideerne om muligt samarbejde  
Aftalt at vende tilbage, når der foreligger flere testprodukter

**Resultat – arkitekter**

10 meget forskellige landskabsarkitekter/arkitekter besøgt eller fået besøg af. I flere af besøgene deltog flere medarbejdere fra arkitekttegnestuen, således ialt ca. 30 arkitekter har været med til møderne.

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

Alle var meget positive over solcelleidéen og de viste designkoncepter. Ikke overraskende var arkitekter meget kritiske over designs, men var dog meget positive over især 3 designs – og igen chaussestenen.

**Resultat – messer og udstillinger**

Der blev ikke foretaget nogen decideret markedsundersøgelse på de 4 deltagende messer/udstillinger, men der blev hurtigt af de besøgendes kommentarer dannet et klart billede af de mest populære designs – og der var især 3 produkter (herunder chaussesten) der samledes mest interesse omkring. I alt har ca. 400 besøgene set produktkoncepterne.

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

## 6. FORMIDLING

### Mål

At viderebringe og markedsføre budskabet om energibesparelser via solcelledrevet lys i byrummet og at anvende de frembragte designkoncepter som "brækstang" til at sælge budskabet.

### Processen

Vi har valgt løbende i projektet at informere, markedsføre og præsentere ideer, koncepter og holdninger. Målgruppen er dels fagfolk i form af landskabsarkitekter, arkitekter, kommuner og andre beslutningstager indenfor området – dels fagpressen indenfor energi, byggeri, møbler og lys.

Processen er derfor opdelt i en fokuseret individuel præsentation overfor primært arkitekter og kommuner, hvor de udarbejdede produktpræsentationer (plancher, datablade) og designmodeller anvendes.

Den bredere og mere generelle præsentation er dels offentliggørelse til primært pressen er i form af nyhedsbreve (2 stk udsendt i perioden) og PR – og dels deltagelse i udvalgte messer udstillinger om emnet.

### Resultat

#### Messer

Præsentation af de 7 nominerede **produkt designs på 4 messer** i PSO-forløbet og efterfølgende udvalgte af dem på messe i Sverige i februar 08:

Scandinavian Furniture Fair i Bella i maj 07

Have & Landskab i Slagelse i august 07

Lysets Dage i Øksnehallen i september 07

LED-messe i Bella i december 07

- og møbel- og lysmessen i Stockholm foråret 08

#### Udstilling på Amager

I en i foråret 07 indkøbt (ikke PSO-midler) 40 fods lukket container er de **7 designkoncepter permanent opstillet** og kan dermed fremvises med lys om dagen.

#### PR

**Artikler** i Børsen, Erhvervsbladet, Arkitekten, ElForskNyt,

#### Produktbrochurer

**7 forskellige produktbrochurer** er udarbejdet og disse er også at finde som downloadbare filer hos outsider.

Oversigtsbrochurer: En foldet A3-folder indeholdende visende de 7 produktkoncepter sammen med andre udvalgte byrumsinventar er udarbejdet i et stort antal og udleveret/udsendt til mange arkitekter og kommuner. Er også anvendt på alle messerne.

#### Plancher

Der er udarbejdet **A1 plancher** på alle 7 produktkoncepter og disse har været anvendt på messer etc. og til markeds møder.

#### Web

---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

Alle 7 produktkoncepter kan findes på out-siders website [www.out-sider.dk](http://www.out-sider.dk), ligesom flere af designerne har valgt at vise deres respektive design på deres websites

**Priser:**

**Solprisens Særpris 2007** for ideen om solcelledrevet LED-lys i byrummet og samarbejdet mellem de 4 hovedaktører Faktor 3, Dong, Risø og out-sider. De modtagne dkr. 15.000 er anvendt som tilskud til markedstest i Albertslund.

**Erhvervsbladet Iværksætteridé 2007:** out-sider modtog ultimo 07 prisen som Danmarks bedste iværksætteridé 2007 – baseret på en læserafstemning om ideen med solcelledrevet LED-lys.

**Fremtid**

Bladet **LYS og Arkitekten** mangler endnu at bringe lovede artikler, ligesom der givet vil komme flere notitser og artikler efter den seneste messedeltagelse i Sverige.

FAKTOR 3 + out-sider har planlagt en **artikel i det internationale LED-magazine** i foråret 08.

Det forventes, at out-sider og FAKTOR 3 før og i forbindelse med **Klimatopmødet i november 09** vil udarbejde en del PR, artikler og demo-produkter om solcelledrevet lys til byrum, såfremt der findes midler til det.



---

**Solcelledrevet LED-lys i byrumsinventar - udvikling af fremtidens energibesparende belysning**

---

## 7. REFERENCER

---

<sup>1</sup> World Consumption of Primary Energy by Energy Type and Selected Country Groups, 1980-2004. Energy Information Administration, U.S. Department of Energy (July 31, 2006). Retrieved on 2007-01-20.

<sup>2</sup> World Energy Intensity: Total Primary Energy Consumption per Dollar of Gross Domestic Product using Purchasing Power Parities, 1980-2004. Energy Information Administration, U.S. Department of Energy (August 23, 2006). Retrieved on 2007-04-03.

<sup>3</sup> <http://ledsmagazine.com/news/3/12/19/1>

<sup>4</sup> <http://www.ledsmagazine.com/news/4/1/23>

<sup>5</sup> <http://www.ledsmagazine.com/news/4/2/7>

<sup>6</sup> <http://www.ledsmagazine.com/news/4/2/10>

<sup>7</sup> <http://www.ledsmagazine.com/features/4/2/1>

<sup>8</sup> <http://catalog.osram-os.com/catalogue/catalogue.do?favOid=000000020001b2ad00020023&act=showBookmark>  
Datablad Pdf-dokument: SideLED LW\_A6SG.pdf

<sup>9</sup> <http://catalog.osram-os.com/catalogue/catalogue.do?favOid=000000000002108e000a0023&act=showBookmark>

<sup>10</sup> <http://catalog.osram-os.com/catalogue/catalogue.do?favOid=000000020000f06900050023&act=showBookmark>

<sup>11</sup> <http://catalog.osram-os.com/catalogue/catalogue.do?favOid=000000030001928000c70023&act=showBookmark>